



## 저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사학위논문

노후주택의 난방에너지 절약을 위한  
적정기술이 적용된 열손실 저감방안

Reduction of Heat Loss Applied with  
Appropriate Technology for Heating Energy Saving  
of Deteriorated Housing

2017 년 2월

서울대학교 대학원

건축학과

최 창 식

# 노후주택의 난방에너지 절약을 위한 적정기술이 적용된 열손실 저감방안

Reduction of Heat Loss Applied with  
Appropriate Technology for Heating Energy Saving  
of Deteriorated Housing

지도교수 김 광 우

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함

2017 년 2 월

서울대학교 대학원

건축학과

최 창 식

최창식의 공학석사 학위논문을 인준함

2017 년 2 월

|      |   |
|------|---|
| 위원장  | 인 |
| 부위원장 | 인 |
| 위원   | 인 |

## 국문 초록

노후주택은 건물연한이 오래됨에 따라 발생한 노후화와 현재에 비해 낮은 수준의 주택 성능기준 및 시공기술이 적용되어 단열 및 기밀성능이 취약하며, 이로 인해 발생하는 열손실은 쾌적한 실내 환경을 유지하기 위해 과도하게 많은 난방에너지를 소비하게 하는 원인이 되고 있다. 이와 같은 문제를 개선하기 위해 전면적인 단열 및 개보수를 실시하면 되지만 노후주택 거주자들의 경우 경제적으로 취약하기 때문에 노후주택의 난방에너지 절감을 위해 소요되는 비용을 감소시키며 효율적으로 단열 및 기밀성능을 개선할 수 있는 방안 마련이 필요하다.

최근 노후주택 거주자와 같은 소외계층의 거주 및 생활환경 개선을 위한 저비용의 기술인 적정기술이 대두되고 있으며 이를 통해 소외계층이 처한 다양한 문제들을 해결하려는 노력이 지속적으로 이루어지고 있다. 그러므로 적정기술을 활용하는 것은 노후주택의 문제점을 해결하기 위한 하나의 대안이 될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 노후주택의 난방에너지 절감을 위한 적정기술이 적용된 단열 및 기밀성능 개선방안 도출하고 그 적용효과를 평가하는 것을 목적으로 하였다.

노후주택의 성능을 파악하기 위해 일반적인 유형의 노후주택을 대상으로 실측을 통해 단열 및 기밀성능을 측정하였다. 측정결과를 이용한 건물 에너지 시뮬레이션을 통해 주택 부위별 열손실을 파악하여 열손실이 많이 발생하는 취약부위를 도출하였다. 다양한 성능개선 안을 시뮬레이션을 통해 난방에너지 절감을 및 비용을 분석한 뒤 개선방향을 도출하였다. 도출된 개선방향을 바탕으로 효율적인 노후주택의 열손실 저감을 위한 방안을 도출하고 대표적 유형의 노후주택에 적용함으로써 난방에너지 절감효과를 평가하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 노후주택 실측 결과 단열 성능 수준은 매우 오래된 기준 수준에도 못 미치는 것으로 파악되었고 기밀성은 거주자의 의사에 따라 보완되어 사용되어 지고 있으나 국외기준에는 못 미치는 것으로 분석되었다. 시뮬레이션을 통한 에너지 소비량 비율 산출 결과, 건물마다 열손실이 일어나는 비율이 다르고 이에 따라 개선되는 효율성이 상이하므로 진단을 통해 건물성능을 파악하고 이를 바탕으로 개선을 실시하는 것이 필요하다.
- 2) 생활공간을 확보하고 해당공간을 쾌적한 온도 및 환경으로 유지하기 위해 외피와 실내공간에 이중으로 보강을 실시하는 Double Barrier 대안을 제시하였다. Double Barrier 적용 시, 동절기 평균적인 외기 온도의 경우 Indoor 공간의 난방부하는 400W 미만으로 온수매트 정도의 가열량(400W, 2인 기준)으로 Indoor 공간을 쾌적한 온도로 유지하는 것이 가능하였으나, 최저 외기온도의 경우 약 100W 정도의 추가적인 가열량이 필요한 것결로으로 분석되었다.
- 3) Indoor 공간의 CO2 농도 및 결로발생은 재실자의 수에 가장 큰 영향을 받는 것으로 분석되었다. 또한 실내에서 취사 행위와 같은 수증기가 발생하는 행위를 할 경우, 결로가 발생할 가능성이 높으므로 생활 공간과 취사공간을 분리하여 각 공간의 목적에 부합하게 사용하는 것이 필요하다.

**주요어 :** 노후주택, 적정기술, 리트로핏, 난방에너지, 난방부하, 열손실, 난방텐트

**학 번 :** 2015-21125

## 목 차

|   |    |
|---|----|
| 제 1 장 서론 .....                            | 1  |
| 1.1 연구의 배경 및 목적 .....                     | 1  |
| 1.2 연구의 범위 및 방법 .....                     | 4  |
| 제 2 장 적정기술이 적용된 열손실 저감방안 도출을 위한 예비적 고찰 .. | 6  |
| 2.1 개요 .....                              | 6  |
| 2.2 적정기술의 정의 .....                        | 6  |
| 2.3 주택의 단열 및 기밀성능 향상 방안 .....             | 9  |
| 2.3.1 전통주거 적용방안 .....                     | 9  |
| 2.3.2 현대주거 적용방안 .....                     | 14 |
| 2.4 노후주택의 성능개선 관련 선행연구 .....              | 19 |
| 2.5 소결 .....                              | 21 |
| 제 3 장 노후주택 건물의 성능 실태 분석 .....             | 22 |
| 3.1 개요 .....                              | 22 |
| 3.2 노후주택의 건물성능 분석을 위한 단열 및 기밀성능 측정 .....  | 22 |
| 3.2.1 단열 및 기밀성능 측정 개요 .....               | 22 |
| 3.2.2 측정 대상주택 선정 .....                    | 32 |
| 3.2.3 단열 및 기밀성능 측정결과 .....                | 33 |
| 3.3 시뮬레이션을 통한 노후주택의 부위별 열손실 분석 .....      | 38 |
| 3.3.1 시뮬레이션 프로그램 선정 .....                 | 38 |
| 3.3.2 시뮬레이션 모델 검증 .....                   | 39 |
| 3.3.3 노후주택의 부위별 열손실 산출결과 .....            | 41 |
| 3.4 노후주택 성능개선 방향 설정을 위한 LCC 분석 .....      | 43 |
| 3.41 LCC 분석 대안 선정 .....                   | 43 |
| 3.42 LCC 분석 결과 .....                      | 44 |
| 3.5 소결 .....                              | 48 |

|          |                                     |    |
|----------|-------------------------------------|----|
| 제 4 장    | 적정기술이 적용된 노후주택의 열손실 저감방안 도출 및 평가... | 49 |
| 4.1      | 개요 .....                            | 49 |
| 4.2      | 적정기술을 적용한 열손실 저감방안 도출 .....         | 49 |
| 4.3      | 개선방안의 적용효과 분석 .....                 | 53 |
| 4.3.1    | 분석개요 .....                          | 53 |
| 4.3.2    | 적용효과 분석결과 .....                     | 59 |
| 4.4      | 소결 .....                            | 68 |
| 제 5 장    | 결 론 .....                           | 70 |
| 참고 문헌    | .....                               | 73 |
| ABSTRACT | .....                               | 76 |

## 표 목차

|   |    |
|---|----|
| <표 1.1> 전국 건축연도별, 주택유형별 주택 수(단위 : 호) .....      | 2  |
| <표 2.1> 적정기술의 조건 .....                          | 9  |
| <표 2.2> 무기질 단열재 종류 및 개요 .....                   | 14 |
| <표 2.3> 유기질 단열재 종류 및 개요 .....                   | 15 |
| <표 2.4> 기밀성능 보강 제품 .....                        | 17 |
| <표 3.1> 난방부하 요소 및 계산을 위한 수식 .....               | 24 |
| <표 3.2> 단열성능 측정방법 .....                         | 25 |
| <표 3.3> 기밀성능 측정방법 .....                         | 31 |
| <표 3.4> 대상건물 현황 .....                           | 32 |
| <표 3.5> 대상건물 주요부위 사진 및 평면 .....                 | 33 |
| <표 3.6> 열관류율 측정 부위 .....                        | 34 |
| <표 3.7> 단열성능 측정결과 - 외벽, 내벽, 실내문, 천장, 바닥 .....   | 35 |
| <표 3.8> 단열성능 측정결과 - 현관문, 창문 .....               | 36 |
| <표 3.9> 기밀성능 측정결과 .....                         | 38 |
| <표 3.10> MBE 및 CVRMSE 산출결과 .....                | 39 |
| <표 3.11> 전력소비량 실측 정보 .....                      | 40 |
| <표 3.12> 전력소비량 실측 및 시뮬레이션 결과 .....              | 40 |
| <표 3.13> 열손실 비율 비교 .....                        | 41 |
| <표 3.14> 피크부하 발생 시 부위별 열손실 .....                | 42 |
| <표 3.15> 지원제도에 따른 지원금액 .....                    | 43 |
| <표 3.16> 주택 별 LCC 분석대안 선정결과 .....               | 44 |
| <표 3.17> 주택A 경제성 분석 결과 .....                    | 46 |
| <표 3.18> 주택A 경제성 분석 결과 .....                    | 46 |
| <표 4.1> 법규수준 달성을 위해 보강되어야 하는 단열재 두께 및 열저항 ..... | 50 |
| <표 4.2> External Barrier의 단열 및 기밀성능 .....       | 54 |
| <표 4.3> Internal Barirer의 단열, 기밀성능 및 크기 .....   | 55 |



|  |    |
|--|----|
| <표 4.4> 난방부하 분석 Case .....                       | 55 |
| <표 4.5> CO2 농도 분석 Case .....                     | 56 |
| <표 4.6> 결로발생 분석 Case .....                       | 73 |
| <표 4.7> Double Barrier 적용 전, 후 난방부하 .....        | 74 |
| <표 4.8> Double Barrier 적용 시 Semi indoor 온도 ..... | 75 |
| <표 4.9> Double Barrier 적용 시 주택의 CO2 농도 .....     | 76 |
| <표 4.10> Double Barrier 적용 시 결로발생여부 .....        | 77 |

## 그림 목차

|  |    |
|--|----|
| [그림 1.1] 연구흐름도 .....   | 5  |
| [그림 2.1] 겹집의 평면 유형 .....                                     | 10 |
| [그림 2.2] 우테기가 설치된 주택 단면 .....                                | 12 |
| [그림 2.3] Canopy Bed .....                                    | 13 |
| [그림 2.4] 난방텐트 설치전경 .....                                     | 18 |
| [그림 2.5] 덧담창호 제품사진 .....                                     | 19 |
| [그림 3.1] 주거건물의 난방부하 산출요소 .....                               | 24 |
| [그림 3.2] 국내주택 기준과 실측주택의 열관류율 비교(외벽, 중부지역 기준) .....           | 30 |
| [그림 3.3] 실측 및 시뮬레이션 실내온도 비교 .....                            | 39 |
| [그림 3.4] 주택 부위별 열손실 비율 .....                                 | 41 |
| [그림 3.5] 주택 별 초기 투자비용 회수기간 .....                             | 47 |
| [그림 4.1] Double Barrier 개념도 .....                            | 52 |
| [그림 4.2] Indoor 공간의 난방부하 : 외기온 $-14.4^{\circ}\text{C}$ ..... | 62 |
| [그림 4.3] Indoor 공간의 난방부하 : 외기온 $-0.8^{\circ}\text{C}$ .....  | 62 |
| [그림 4.4] 주택의 CO <sub>2</sub> 농도 - 재실자 1명 .....               | 65 |
| [그림 4.5] 주택의 CO <sub>2</sub> 농도 - 재실자 2명 .....               | 65 |

# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구의 배경 및 목적

노후주택은 오래되고 낡아서 건물의 본래 기능을 수행하지 못하는 주택<sup>1)</sup>이라는 사전적 의미를 가지며 도시 및 주거환경정비법에서는 노후주택을 건축물이 훼손되거나 일부가 멸실되어 붕괴 및 그 밖의 안전사고의 우려가 있는 건축물 혹은 도시미관의 저해, 건축물의 기능적 결함, 부설시공 또는 노후화로 인한 구조적 결함 등으로 인하여 철거가 불가피한 건축물<sup>2)</sup> 등으로 정의하고 있다. 또한 시도별 조례에 따라 노후주택 기준이 비교적 구체적으로 명시되어 있으며 서울, 경기, 인천 등 주요 도시의 경우 철근콘크리트 공동주택과 이외의 건축물로 구분하여 완공이후 경과년도를 노후주택의 판단기준으로 제시하고 있다. 이렇듯 노후주택에 대한 다양한 정의가 존재하지만 전술한 내용을 바탕으로 노후주택의 의미를 유추해보면 노후화로 인해 성능이 저하되어 개선이 필요한 건축물 정도로 요약할 수 있다.

통계청의 2010년 주택 총조사에 따르면 국내의 주택 수는 약 1,400만 호로 그 중 단열관련 기준이 제정된 1979년 이전에 완공된 주택은 전체의 약 10%, 완공 후 20년 이상이 경과된 주택은 전체의 약 50%에 해당하는 비율을 나타내고 있어 전국적으로 노후화가 발생한 주택이 많을 것으로 예상된다.

특히 주택은 채실 특성 상 거주자가 일과를 위해 주간에는 채실하지 않고 야간에 일과를 마치고 복귀할 가능성이 높으며, 야간은 하루 중 기온이 점차적으로 감소하여 최저로 떨어지는 시간대이므로, 주택에서 쾌적한 실내 환경을 유지하기 위해서는 난방의 중요성이 크다고 할 수 있다. 그러나 노후주택

---

1) 최석환, 2014, 노후주택 관리 및 정비 지원을 통한 도시재생방안 연구 최종보고서, 수원시정연구원

2) 국토교통부, 2016, 도시 및 주거환경정비법 제2조 제3호

<표 1.1> 전국 건축연도별, 주택유형별 주택 수(단위 : 호)

| 구분            | 합계                   | 준공년도               |                    |                    |                    |
|---------------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|               |                      | 2005 ~ 2010        | 1995 ~ 2004        | 1980 ~ 1994        | 1979년<br>이전        |
| 합계            | 13,883,571<br>(100%) | 2,174,160<br>(16%) | 5,383,734<br>(39%) | 4,976,596<br>(36%) | 1,349,081<br>(10%) |
| 단독주택          | 3,797,112<br>(100%)  | 301,950<br>(8%)    | 876,094<br>(23%)   | 1,455,633<br>(38%) | 1,163,435<br>(31%) |
| 아파트           | 8,185,063<br>(100%)  | 1,719,228<br>(21%) | 3,652,353<br>(45%) | 2,690,159<br>(33%) | 123,323<br>(2%)    |
| 연립주택          | 503,630<br>(100%)    | 20,555<br>(4%)     | 146,533<br>(29%)   | 303,181<br>(60%)   | 33,361<br>(7%)     |
| 다세대주택         | 1,246,486<br>(100%)  | 116,928<br>(9%)    | 658,668<br>(53%)   | 462,913<br>(37%)   | 7,977<br>(1%)      |
| 비주거용<br>건물내주택 | 151,280<br>(100%)    | 15,499<br>(10%)    | 50,086<br>(33%)    | 64,710<br>(43%)    | 20,985<br>(14%)    |

의 경우 건물연한이 오래됨에 따라 발생한 노후화와 현재에 비해 낮은 수준의 주택 성능기준 및 시공기술이 적용되어 단열 및 기밀성능이 취약하며, 이로 인해 발생하는 열손실은 쾌적한 실내 환경을 유지하기 위해 과도하게 많은 난방에너지를 소비하게 하는 원인이 되고 있다. 따라서 거주자가 쾌적한 실내 환경을 유지하기 위해 지출해야하는 난방비용 또한 증가하게 되지만, 노후주택의 거주자들은 대부분 경제적으로 취약한 계층이기 때문에 과도한 난방비용을 부담하기 어려우므로 난방을 적게 가동하거나 가동하지 않고 보조 난방기구 등을 사용하여 불쾌적인 생활을 영위하고 있다. 또한 난방에너지 절감을 위한 개보수를 실시하게 되어도 단열과 기밀성능이 현저히 떨어지기 때문에 현재 노후주택에 적용되고 있는 일반적인 보강 수준에서는 쾌적한 환경을 유지하기 위해 많은 양의 난방에너지 소비가 필요하다. 이와 같은 문제를 개선하기 위해 기밀보강 및 보강되는 단열재의 두께를 증가시키면 되지만 개선비용이 증가하여 현실적으로 노후주택 거주자들이 실행하기 어려울 뿐만 아니라 보강되는 단열재의 두께가 증가할 경우 생활공간이 줄어들게 되는 문제가

발생하게 된다. 따라서 노후주택의 난방에너지 절감을 위해 소요되는 비용을 감소시키며 효율적으로 단열 및 기밀성능을 개선할 수 있는 방안 마련이 필요하다.

최근 노후주택 거주자와 같은 소외계층의 거주 및 생활환경 개선을 위한 저비용의 기술인 적정기술이 대두되고 있으며 이를 통해 소외계층이 처한 다양한 문제들을 해결하려는 노력이 지속적으로 이루어지고 있다. 건축분야에서도 단열 및 기밀성능 향상에 관한 다양한 방안들이 제시되고 있으며 실제로 효과가 입증되어 주택성능개선에 사용되는 사례들이 늘어나고 있다. 그러므로 이러한 적정기술을 활용하는 것은 노후주택의 문제점을 해결하기 위한 하나의 대안이 될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 노후주택의 난방에너지 절감을 위한 적정기술이 적용된 단열 및 기밀성능 개선방안 도출하고 그 적용효과를 평가하는 것을 목적으로 하였다.

## 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서 노후주택의 난방에너지 절감을 위한 적정기술이 적용된 열손실 저감 방안 제시를 위해 진행된 연구의 범위 및 방법은 다음과 같다.

### (1) 적정기술이 적용된 열손실 저감방안 도출을 위한 예비적 고찰

적정기술의 정의에 대한 고찰을 통해 열손실 저감방안 도출시 적정기술의 개념을 적용하고자 하였다. 또한 주택의 열손실 저감을 위한 방안 수립을 위해 기존의 단열 및 기밀성능 개선방안과 선행연구에 대한 고찰을 진행하였다.

### (2) 노후주택 건물의 성능실태 분석

효율적으로 노후주택의 성능개선을 실시하기 위해서는 현재 상태에 대한 진단을 바탕으로 주택의 성능수준을 파악한 뒤, 이를 바탕으로 개선방안을 마련하는 것이 필요하다.

따라서 일반적인 유형의 노후주택을 대상으로 실측을 통해 단열 및 기밀성능을 측정하였다. 측정결과를 이용한 건물 에너지 시뮬레이션을 통해 주택 부위별 열손실을 파악하여 열손실이 많이 발생하는 취약부위를 도출하고 노후주택의 성능을 파악하였다.

### (3) 노후주택의 열손실 저감방안 도출 및 평가

다양한 성능개선 안을 시뮬레이션을 통해 난방에너지 절감을 및 비용을 분석한 뒤 개선방향을 도출하였다.

도출된 개선방향을 바탕으로 효율적인 노후주택의 열손실 저감을 위한 방안을 도출하고 대표적 유형의 노후주택에 적용함으로써 난방에너지 절감효과를 평가하였다.

이상과 같은 본 연구의 범위 및 방법에 의한 연구 진행을 연구 흐름도로 나타내면 [그림 1.1]과 같다.

| 연구 절차                            | 연구 내용  | 연구 방법                        |
|----------------------------------|--|------------------------------|
| 예비적 고찰                           | <p>적정기술의 정의 고찰</p> <p>주택의 열손실 저감방안 고찰</p> <p>노후주택의 성능개선 관련 선행연구 고찰</p>   | 문헌 고찰                        |
| 노후주택<br>건물의<br>성능실태 분석           | <p>노후주택의 건물성능 분석을 위한<br/>단열 및 기밀성능 측정</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 단열 및 기밀성능 측정 개요</li> <li>- 측정대상 주택 선정 및 결과</li> </ul> <p>시뮬레이션을 통한 노후주택의 부위별 열손실 분석</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 시뮬레이션 프로그램 선정</li> <li>- 시뮬레이션 모델 검증</li> <li>- 노후주택의 부위별 열손실 산출</li> </ul> <p>성능개선 방향 설정을 위한 LCC 분석</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- LCC 분석 대안 선정 및 결과</li> </ul> | 대상건물 실측<br>및<br>시뮬레이션        |
| 적정기술이 적용된<br>열손실 저감방안<br>도출 및 평가 | <p>적정기술을 적용한 열손실 저감방안 도출</p> <p>개선방안의 적용효과 평가</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 난방부하 절감효과</li> <li>- CO2 농도</li> <li>- 결로발생 판단</li> </ul>   | 대상건물에<br>대한<br>정상상태 분석<br>수행 |
| 결론                               | <p>노후주택 성능분석 결과 제시</p> <p>열손실 저감방안 도출 및 적용효과 제시</p>  |                              |

[그림 1.1] 연구 흐름도

## 제 2 장 적정기술이 적용된 열손실 저감방안 도출을 위한 예비적 고찰

### 2.1 개요

본 장에서는 적정기술이 적용된 열손실 저감 방안 도출을 위한 예비적 고찰로서 적정기술의 정의와 기존 주택에 적용된 열손실 저감 방안인 단열 및 기밀성능 개선에 관한 방안에 대해 고찰하였다. 또한 기존의 노후주택 성능개선에 대한 연구에 대해 파악함으로써 개선방안 도출시 적용 가능한 방안들을 찾고자 하였다.

### 2.2 적정기술의 정의

적정기술(Appropriate Technology)은 인간의 삶의 질을 향상시키며 환경친화적인 기술<sup>3)</sup>로서 1966년 영국의 경제학자 E.F.슈마허(E.F. Schumacher)가 제안한 중간기술(Intermediated Technology)에서 발전 및 확장된 개념이다. 슈마허는 그의 저서인 ‘작은 것이 아름답다’에서 생태계의 파괴와 인간소외를 초래하는 대량생산 기술의 문제를<sup>4)</sup> 개선하기 위해 첨단기술과 토속기술의 중간에 위치하며 환경파괴를 최소화 할 수 있을 뿐만 아니라 기술과 경제의 발전을 도모할 수 있는 중간기술이란 개념을 주장<sup>5)</sup>하였다. 그러나 이후 중간기술이라는 용어가 단순히 기술적인 측면에서 첨단기술과 비교되어 평가절하 당하는 것을 방지하고, 기술의 발전으로 인해 야기되는 사회적 문제를 최소화하기 위한 인간중심적 측면의 의미를 부각시키기 위해 적정기술이란 용

3) 고재경, 2013, 따뜻하고 지속가능한 사회를 위한 적정기술, 이슈&진단, 87, pp.1-27

4) Ibid.

5) 김정태, 홍성욱, 2012, 적정기술이란 무엇인가(세상을 바꾸는 희망의 기술), 살림



어로 불리게 되었다.<sup>6)</sup>

중간기술에서 적정기술로 개념이 변화된 뒤 적정기술의 활용은 주로 개발도상국, 저소득국가의 빈곤층을 대상으로 이루어져 그들의 경제적, 사회적 수준을 향상시키기 위한 목적으로 사용되어 왔다. 또한 선진국과 국제기구의 원조 형태로 지원이 이루어졌기 때문에 일각에서는 적정기술을 낙후된 기술로 인식하는 선입견을 갖게 되었다. 그러나 과학기술의 발전에 따라 첨단기술들을 저렴한 비용으로 사용할 수 있게 되었을 뿐만 아니라 지원이 필요한 대상의 상황에 적합하게 첨단기술을 변형하여 적용하는 것이 용이하게 되면서 적정기술에 사용되는 기술의 범위는 단순한 기술에 한정되지 않고 첨단기술까지 확장될 수 있었다.<sup>7)</sup>

현대에 이르러서는 적정기술에 사용되는 기술적 측면뿐만 아니라 수혜를 받는 대상자의 선정에 있어서도 범위의 확장이 이루어 졌다. 이에 대해 이도영(2013)은 “현대의 적정기술은 그 수요대상자를 제 3세계 개도국이 가난한 사람들로 제한하지 않고 있다. 여기서 ‘가난’이란 개념 또한 소득의 빈부격차를 뜻하는 것을 넘어 ‘역량’과 ‘자유’라는 개념과 맞물려 개인이 행사(affordable)할 수 있는 역량과 자유의 범위 제한을 일컫고 있다. 또한 문화적, 사회적, 경제적인 ‘맥락(context)’의 문제는 지역(community)의 특성보다 개개인의 ‘맥락’으로 변화되고 있다”<sup>8)</sup>라고 해석하고 있다.

이렇듯 적정기술의 범위와 의미가 확장됨에 따라 적정기술에 대한 구체적인 해석에는 다양한 의견들이 제시되고 있다. 고재경(2013)은 적정기술의 의

6) 조희정, 김원택, 오은영, 2014, 적정기술을 활용한 자립형 제품 개발 프로세스 연구, 디지털디자인학연구, 14(3), pp.365-374

7) 고재경, op. cit., pp.1-27

8) 이도영, 2013, 한국 적정기술 정책의 과거, 현재, 그리고 미래, 과학기술정책, 193, pp.118-129

미를 “지역사회의 사회, 경제, 정치, 문화적 조건에 적합하고 환경에 대한 영향을 줄이면서 삶의 질을 향상시키는 기술로서 소규모, 분산형, 노동집약적, 저비용, 친환경, 지역성, 사용자 참여, 유연성 등을 특징으로 하며, 지역사회 발전과 공동체 역량 강화에 대한 기여가 중요한 조건”<sup>9)</sup>이라고 해석하고 있다. 또한 엄경희(2012)는 “한 사회의 환경, 윤리, 문화, 사회, 환경적인 측면을 모두 고려하여 특별히 고안된 기술로, 적은 비용으로 제품을 제작할 수 있고 유지관리가 쉬우며 환경 친화적인 기술”<sup>10)</sup>로 정기철<sup>11)</sup>(2010)은 적정기술이 저개발국, 저소득층이 처한 다양한 문제를 해결하기 위한 방안으로 사용할 수 있을 뿐만 아니라 선진국을 비롯한 다양한 국가에서 소외된 계층의 주거, 의료, 교육 등의 문제를 개선하기 위해 적절히 사용될 수 있는 기술로 해석하고 있다.

이와 같이 적정기술의 정의에 대한 기존의 해석에서 의미하는 적정기술의 조건을 종합해 보면 <표 2.1>과 같이 요약할 수 있다. 다양한 조건들이 존재하지만 적정성(appropriate), 낮은 비용(low-cost), 중간(intermediate)의 의미를 공통적으로 내포하고 있다.<sup>12)</sup> 결국 적정기술에 대해 명확한 정의를 내리기는 어렵지만 큰 틀에서 적정기술은 인간의 삶의 질을 향상시키기 위해 하이테크놀로지와 로우테크놀로지 사이의 기술을 적절히 변형시킨 저비용의 효율적인 기술로 정의내릴 수 있다.

9) 고재경, op. cit., pp.1-27

10) 엄경희, 김형주, 2012, 적정기술을 활용한 디자인제품 사례 연구, 한국디자인문화학회지, 18(4), pp.262-277

11) 정기철, 2010, 적정기술의 동향과 시사점, Issues & Policy, pp.1-8

12) Nicolas Jéquier, 1976, Appropriate Technology: Problems and Promises, Paris, Development Centre of OECD, pp.16-17

<표 2.1> 적정기술의 조건<sup>13)</sup>

| 구분 | 내용   |
|----|--|
| 1  | 자본 비용이 저렴해야 한다                                   |
| 2  | 가능하면 현지에서 나는 재료를 이용한다                            |
| 3  | 현지의 기술과 노동력을 활용하여 일자리를 창출한다                      |
| 4  | 소규모 그룹의 사람들이 활용할 수 있도록 크기가 충분히 작아야 한다            |
| 5  | 특정 분야의 과학 지식이 없어도 이해하고 통제할 수 있으며 유지 관리할 수 있어야 한다 |
| 6  | 지역 주민 스스로 만들 수 있어야 한다                            |
| 7  | 사람들의 협동 작업을 유도하고 지역사회의 발전에 기여해야 한다               |
| 8  | 분산형 재생가능한 에너지를 사용한다                              |
| 9  | 기술을 사용하는 사람들이 기술을 이해할 수 있어야 한다                   |
| 10 | 변화하는 환경에 맞게 사용되고 적응할 수 있도록 유연해야 한다               |
| 11 | 지적재산권, 로열티, 컨설팅 비용이나 관세 등이 포함되지 않는다              |

## 2.3 주택의 단열 및 기밀성능 향상 방안

### 2.3.1. 전통주거 적용방안

#### (1) 곁집

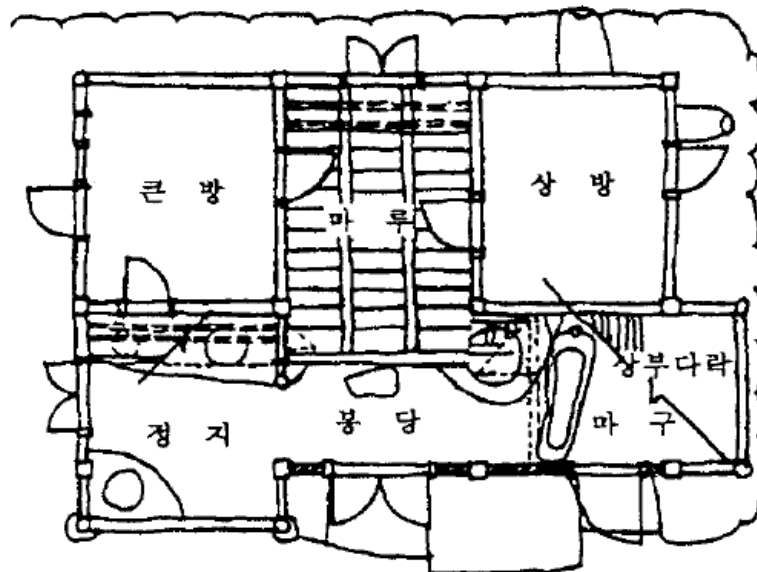
곁집은 주택의 각 방들이 곁으로 배열되어있는 구조의 한옥을 의미하며 겨울철 외기온이 낮은 북동부 산간지역에 주로 분포한다.<sup>14)</sup> 방의 배열이 두곁 혹은 세곁으로 배열되어 있으며 안방, 사랑방, 도장방, 정지, 마루, 마구 등으로 구성된 공간이 분산 되어 있지 않고 내부로 집중되어 주택의 온기가 외부

13) 김정태, 홍성욱, op. cit.

14) 김일진, 김명복, 1990, 경북지방의 곁집에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 6(5), pp.85-93

로 가능한 빠져나가지 않도록 하며<sup>15)</sup> 열손실을 감소시키기 위해 외기에 접하는 면적을 최소화하는 구조적 특징을 갖는다.

일반적으로 한옥에서 불을 지필 경우 이때 발생하는 연기를 배출하고 열기로 인해 음식이 상하는 것을 방지하기 위해 부엌에 창과 같은 개구부를 설치하게 된다.<sup>16)</sup> 그러나 겹집의 경우 부엌에서 발생하는 열을 생활공간의 난방에 활용하기 위해 개구부의 크기를 최소화 시켰으며, 지붕을 통해 연기가 배출되도록 조취하여 차가운 외기와 주택의 온기가 직접 열교환을 하지 않아 열손실을 줄일 수 있도록 하였다.<sup>17)</sup> 겹집의 평면 유형은 [그림 2.1]과 같다.



[그림 2.1] 겹집의 평면 유형<sup>18)</sup>

15) 이용준, 2008, 영동 산간지역 민가의 평면 변화에 관한 고찰, 한국주거학회논문집, 19(5), pp.121-129

16) 전원주택 라이프, 2007, [고택을 찾아서] 자연 환경에 따른 건축 구조를 한눈에, 강원도 고성 여명기 가옥, [https://countryhome.co.kr:454/m/?a\\_id=2014](https://countryhome.co.kr:454/m/?a_id=2014), (2016-11-03 방문)

17) Ibid.

18) 김일진, 김명복, op. cit.

## (2) 우데기

우데기 울릉도의 전통주택에서 찾아 볼 수 있는 주택 구성 요소로서 집 주위에 기둥을 세우고 대나무, 옥수수대 등을 엮어 집 주위를 두른 외벽을 의미하며 강한 바람과 많은 적설량이 특징인 울릉도의 기후조건에 대응하기 위해 만들어지게 되었다.<sup>19)</sup>

울릉도는 전국에서 가장 많은 적설량을 기록하고 있으며 이로 인해 겨울철 폭설이 내리게 되면 강한 바람에 의해 주택 내부로 침투되게 된다. 이뿐만 아니라 폭설로 인해 제설이 어려울 경우 쌓인 눈으로 인해 교통의 단절 및 장기간 고립되는 상황이 발생하므로 이 기간 동안 주로 주택 내에서 생활해야 하는 불편이 생기게 된다.<sup>20)</sup>

따라서 눈이 쌓이게 되어도 우데기를 주택에 설치하게 되면 우데기와 주택 사이에 공간이 형성되어 집 밖에서 자유롭게 활동할 수 있는 공간이 확보될 뿐만 아니라, 외벽을 한 겹 더 두른 이중외피의 형태가 되어 열손실을 감소시키게 되어 주택 내부를 따뜻한 온도로 유지하는데 이점이 생기게 된다.<sup>21)</sup>

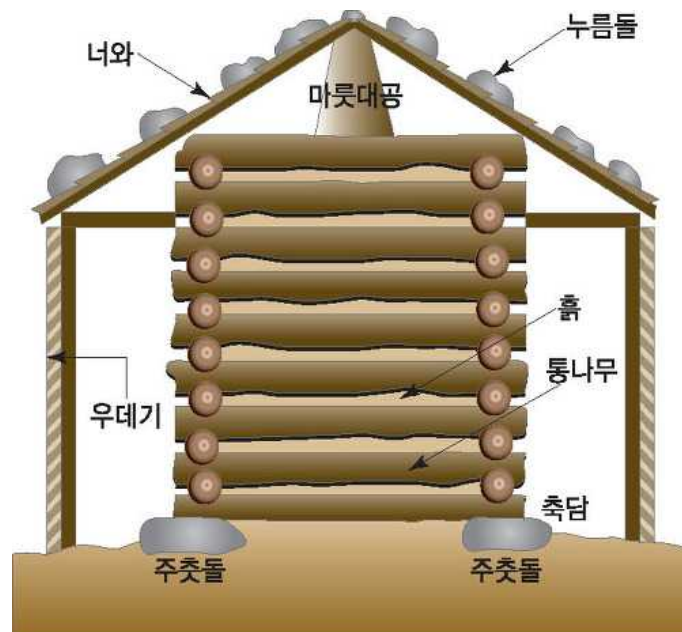
그러나 울릉도의 경우 강한 바람과 폭설을 대비하기 위해 우데기를 동절기뿐만 아니라 일 년 내내 설치해 두어야 했다.<sup>22)</sup> 이로 인해 전술한 바와 같이 주택 내부에서 자유로운 활동이 가능해 지고 기후조건에 보다 적극적으로 대응할 수 있게 되었지만 일사의 유입을 위한 창 또는 환기를 위한 개구부를 우데기에 설치하기 어려워 채광이나 실내공기질 측면에서 불리한 측면이 있다. 우데기가 설치된 주택의 단면은 [그림 2.2]와 같다.

19) 이재완, 2010, 울릉도 민가의 공간구성과 거주관행, 비교민속학, 43, pp.421-466

20) 김찬영, 2004, 울릉도 민가의 변화과정에 관한 연구, 한국주거학회논문집, 15(5), pp.85-96

21) 이재완, op. cit.

22) Ibid.



[그림 2.2] 우데기가 설치된 주택 단면<sup>23)</sup>

### (3) 캐노피 침대

캐노피는 천으로 만들어진 장식용 천으로써 주로 침대나 의자 등의 위에 주로 덮여지게 된다.<sup>24)</sup> 따라서 이를 이용한 캐노피 침대는 침대의 네 모서리에 기둥을 세운 뒤, 장식용 천을 기둥위로 덮어 고정시킨 침대를 의미한다. 현대에 들어 캐노피는 금속 막대 프레임 또는 다채로운 문양이 새겨진 나무 프레임 등과 함께 사용되어 침대의 디자인에 고급스러움을 더하는 장식적 요소로서 주로 사용되고 있다.

그러나 침대에 캐노피가 사용된 최초의 목적은 디자인적, 장식적 요소가 아닌 보다 실용적인 수단으로 유래되었다. 캐노피 침대는 중세시대의 영주나 귀

23) 다음백과사전. 우데기, <http://100.daum.net/encyclopedia/view/39XXX8700043>, (2016-11-08 방문)

24) 네이버사전, canopy, <http://endic.naver.com/enkrEntry.nhn?sLn=kr&entryId=774ea545b6d94746bf3c65e1a13d8004>, (2016-11-10 방문)

족들이 자신을 보필하는 시중과 같은 방에서 잠을 잘 때, 시중들로 부터 자신들의 사생활을 보고하고 침대를 둘러싼 공간의 온도를 향상시켜 쾌적한 수면 환경을 조성하기 위해 사용되었다.<sup>25)</sup>

캐노피는 좁은 침실에 사용할 경우 방을 더 비좁게 보이게 한다는 점과 캐노피의 패브릭에 먼지가 흡착되어 인체에 유해한 영향을 미치는 것을 예방하기 위해 주기적인 세탁이 필요하다는 단점이 있다.<sup>26)</sup> 그러나 겨울철 침대가 위치한 공간과의 냉복사 열교환이 거주자와 직접 이루어지는 것을 차단해주고, 캐노피 내부의 열이 인접공간으로 빠져나가는 것을 막아주어 보다 따뜻한 환경에서 수면이 이루어질 수 있게 해준다. 캐노피가 사용된 침대의 모습은 [그림 2.3]과 같다.



[그림 2.3] Canopy Bed<sup>27)</sup>

25) Wikipedia, Canopy bed, [https://en.wikipedia.org/wiki/Canopy\\_bed](https://en.wikipedia.org/wiki/Canopy_bed), (2016-11-20 방문)

26) Homify, 캐노피 만들기, <https://www.homify.co.kr/ideabooks/221279/%EC%BA%90%EB%85%B8%ED%94%BC-%EB%A7%8C%EB%93%A4%EA%B8%B0>, (2016-11-20 방문)

27) Flickr, Canopy bed, <https://www.flickr.com/photos/mazzali/3874381870/>, (2016-11-22 방문)

### 2.3.2. 현대주거 적용방안

#### 가. 일반적 개선방안

##### (1) 단열성능

주택의 단열성능을 보강하기 위해 사용되는 단열재는 일반적으로 단열재의 재질에 의해 분류가 이루어진다.<sup>28)</sup> 따라서 사용되는 재질에 따라 무기재료와 유기재료로 구분할 수 있으며 무기재료에는 미네랄울, 유리면, Ceramic fiber, Silica, Perlite 등이 있으며 유기재료에는 발포폴리스티렌, 발포폴리우레탄, 압출발포폴리스티렌, 폴리에틸렌 등이 있다. 무기질 단열재는 불연성이 뛰어난 특징이 있으며 유기질 단열재는 무기질 단열재에 비해 단열성이 우수하지만 화재 시 취약하며 유독가스가 발생하는 단점이 있다. 무기질 및 유기질 단열재의 종류 및 특징은 <표 2.2> <표 2.3>과 같다.

<표 2.2> 무기질 단열재 종류 및 개요<sup>29)</sup>

| 종류            | 개요  |
|---------------|---|
| 미네랄울          | 천연 암석에 석회석을 첨가하여 전기로 등으로 용해하고, 이것을 공기 또는 수증기로 불어넣은 섬유상의 단열재 |
| 유리면           | 유리를 용융하여 분사 또는 원심력을 이용한 섬유상의 단열재                            |
| Ceramic Fiber | 고순도의 시리카와 알루미나를 고온에서 용융하여 섬유화한 초고온용 내화 단열재                  |
| Silica        | 규산칼슘분말을 고압 수열반응 시켜 무기섬유 등을 혼합하여 성형한 보온단열재                   |
| Perlite       | 흑요석 진주석 등 천연 유리질의 암석을 분쇄한뒤 급가열하면 발생하는 펄라이트를 성형한 단열재         |
| 질석            | 질석을 가열하여 시멘트, 점토 등을 첨가하여 가열한 뒤 만든 단열재                       |

28) HanmiParsons, 2010, 국내 단열재 현황 및 향후 추세

29) Ibid.



<표 2.3> 유기질 단열재 종류 및 개요<sup>30)</sup>

| 종류         | 개요   |
|------------|--|
| 발포 폴리스티렌   | 폴리스티렌 수지에 저 융점의 유기발포제를 첨가하여 발포시켜 만든 단열재  |
| 발포 폴리우레탄   | 우레탄의 단위 결합으로 고분자화된 수지를 발포시켜 사용   |
| 압출발포 폴리스티렌 | 폴리스티렌 수지와 발포제를 압출기 내에서 혼합·가열하여 압출성형한 판으로 판내가 완전히 독립된 기포로 구성되어 있기 때문에 단열성능이 높고 물을 흡수하지 않음 |
| 폴리에틸렌      | 화학적으로 가교시킨 폴리에틸렌 시트를 발포시켜서 만든 시트상 반경질 발포체  |

국내에서 전통적으로 사용되는 단열재는 미네랄울, 발포 폴리스티렌, 압출 발포 폴리스티렌, 발포 폴리우레탄 등이 있으며, 전통적인 단열재에 비해 낮은 열전도율을 갖는 최근의 단열재들은 Vacuum insulation panel, Aerogel, PCM 등이 있다.<sup>31)</sup>

Vacuum insulation panel은 단열재 내부를 진공처리하여 단열성능을 극대화한 제품으로 약 3mW/mK<sup>32)</sup>의 열전도율을 가져 전통적인 단열재에 비해 약 5~10배의 높은 단열성능을 갖는다.<sup>33)</sup> Aerogel은 사용되는 재료에 따라 전도, 대류, 복사 열전달을 효과적으로 차단하여 열전도율이 공기 다음으로 열전도율이 낮으며<sup>34)</sup>, PCM은 온도의 변화에 따라 상이 변화할 때 열을 축적

30) Ibid.

31) 박종문, 김동환, 서동진, 2012, 친환경 건축물 단열재 최근 연구 동향, 18(1), pp.14-21

32) LG Hausys 제품 카탈로그

33) 박종문, 김동환, 서동진, op. cit. pp.14-21

34) 차종훈, 김수민, 2011, 건물적용을 위한 에어로겔의 단열 특성에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표대회 논문집-구조계, 31(2), pp.303-304

하거나 방출하는 물질로써 낮에는 건물에서 발생하는 열을 흡수하고 밤에는 흡수된 열을 방출함으로써 건물의 냉난방 부하를 감소시킬 수 있는 단열재료이다.<sup>35)</sup>

## (2) 기밀성능

주택에서 기밀도를 향상시키기 위해서는 기밀한 시공을 통해 구조체에 틈이 발생하지 않도록 하는 것이 필요하다. 그러나 시공품질의 불량과 노후화로 인해 주택의 균열이 발생하거나, 틈이 발생한 경우 차가운 외기가 실내로 유입되는 양이 증가하여 동절기 주택의 난방부하가 커지게 된다.

특히 노후주택에서는 창문 자체의 기밀성능이 불량하거나 창문과 벽체가 맞닿는 틈을 통해 침기가 많이 발생하므로 이를 개선하기 위해 창호를 교체하는 개보수 방법이 주로 사용되고 있다. 그러나 노후주택 거주자들이 비용을 직접 부담하기에는 경제적으로 어렵기 때문에 창호교체 시공은 주로 정부나 지자체의 지원에 의해 이루어지고 있다.

또한 노후주택에서 침기가 발생하는 주요 부위로는 출입문의 틈, 벽체의 균열, 반자 등이 있으며 출입문의 틈과 벽체의 균열은 <표 2.4>와 같이 시중에서 판매하고 있는 제품을 사용하여 보강을 실시하고 있다. 그러나 반자를 통해 발생하는 침기는 전면적인 개보수가 필요하므로 전문 시공업자의 도움 없이 노후주택 거주자들이 직접 보강을 실시하기에는 어려운 측면이 있다.

---

35) 정수광, 전지수, 서정기, 김수민, 2011, 건축물에너지 저감을 위한 Phase change material(PCM) 적용에 대한 고찰, 한국건축친환경설비학회 논문집, 5(1), pp.7-15

<표 2.4> 기밀성능 보강 제품

| 제 품 명   | 제 품 사 진  | 제 품 명    | 제 품 사 진   |
|---------|--|----------|---|
| 출입문 틈막이 |   | 방풍비닐     |  |
| 문풍지     |   | 기밀방수 테이프 |  |
| 투습 방수지  |  |          |   |

#### 나. 적정기술이 적용된 개선방안

노후주택의 주거환경 개선을 위한 방안으로 거주자들이 손쉽게 사용할 수 있으며 가격이 저렴한 적정기술이 적용된 제품의 보급 및 사용이 확대되고 있다. 대표적인 제품으로는 뽁뽁이라고 불리는 에어캡, 난방텐트, 덧댐창호 등이 있으며 노후주택 뿐만 아니라 주택성능이 상대적으로 양호한 공동주택 등에도 사용이 증가하고 있다.

에어캡은 제품의 파손을 방지하기 위한 포장지로 주로 사용되었으나, 최근에는 동절기에 창문에 부착되어 열손실을 방지를 위한 목적으로 사용되고 있다. 에어캡은 가격이 저렴할 뿐만 아니라 사용방법 또한 간단한(창문의 크기로 에어캡을 재단한 뒤 분무기로 물을 분사하여 부착) 특징이 있다. 에어캡의

종류 및 부착위치에 따른 단열성능을 평가한 황제<sup>36)</sup>(2015)는 에어캡을 유리보다 프레임에 부착하는 것이 효과가 더 뛰어나며, 공기의 함유량이 많은 사각 에어캡의 단열효과가 우수하다는 연구결과를 제시하였다.

에어캡이 적정기술 제품으로 각광받은 이후 최근에는 난방텐트의 보급이 지속적으로 확대되고 있다. 난방텐트는 [그림 2.4]와 같이 실내에 설치하는 텐트로서 텐트 내부의 열이 새어나가는 것을 방지하고, 외부의 차가운 공기가 유입되는 것을 막아 사람의 체온만으로도 5℃ 이상의 온도상승 효과를 얻을 수 있다고 한다.<sup>37)</sup> 그러나 난방텐트에 사용되는 천의 소재가 얇기 때문에 높은 단열성능 및 보온효과를 기대하기 어려울 뿐만 아니라 특히 바닥부분이 뚫려 있는 제품의 경우 기밀성능이 취약하여 열손실이 많이 발생할 것으로 예상된다.



[그림 2.4] 난방텐트 설치전경<sup>38)</sup>

36) 황제, 정아희, 전병헌, 안영철, 2015, 단열시트(백백이)의 종류 및 부착위치에 따른 창호의 단열성능 평가, 설비공학논문집, 27(9), pp.463-467

37) 동아사이언스, 난방텐트, 정말 따뜻할까, <http://www.dongascience.com/news.php?idx=15624>, (2017-01-18 방문)

38) [http://bymomstore.com/web/upload/NNEditor/20161008/3\\_shop1\\_182039.jpg](http://bymomstore.com/web/upload/NNEditor/20161008/3_shop1_182039.jpg) (바이맘 온라인 스토어)

뎃뎃창호는 창문을 교체하지 않고 창문의 단열 및 기밀성능을 향상시키기 위한 제품이다. 단열성능을 향상시키기 위해 유리부분에 폴리카보네이트 소재를 덧붙이고, 기밀성능 향상시키기 위해 창문의 레일에 방풍재를 끼워넣는 제품으로 약 15% 이상의 단열 및 기밀성능 효과를 갖는 것으로 소개되고 있다.<sup>39)</sup>



[그림 2.5] 뎃뎃창호 제품사진<sup>40)</sup>

## 2.4 노후주택의 성능개선 관련 선행연구

김민경<sup>41)</sup>(2010)은 기존 단독주택의 에너지 성능개선 요소로 벽체 단열강화, 창문효율개선, 옥상녹화, 창틀단열강화, 기밀성 개선을 선정하였고 각 요

39) <http://hbenc7671.koreafree.co.kr/main/page.html?pid=58> (한백이엔씨 Product Info)

40) <http://hbenc7671.koreafree.co.kr/main/page.html?pid=19> (한백이엔씨 제품사진)

41) 김민경, 김성은, 2010, 기존 단독주택의 에너지성능개선을 위한 요소 및 효과에 관한 연구, 서울 도시연구, 11(3), pp.29-47

소의 성능개선효과를 정량적으로 분석하기 위해 시뮬레이션을 실시하였다. 그 결과, 단열재의 설치로 인한 에너지 절약효과가 약 20%로 가장 높게 나타났으며 창문효율개선의 경우 단판 유리를 복층유리로 교체할 경우 약 5% 절감이 가능했으나 복층유리를 로이유리나 삼중유리로 교체할 경우 에너지 절감효과는 3% 미만으로 절감효과가 미미하다고 밝히고 있다.

정창헌<sup>42)</sup>(2010)은 공동주택 벽체세대의 성능 개선 시 난방부하 절감량을 평가하였다. 벽체에 보강하는 단열재의 두께를 200mm로 적용하게 되면 내단열의 경우 약 30%, 외단열의 경우 약 35%의 난방부하를 저감할 수 있는 것으로 나타났다. 기밀성능을 패시브하우스 수준으로 향상시킬 경우 약 22%의 난방부하를 절감할 수 있었으며 부하절감을 위한 다양한 성능개선 방안 중 단열성능을 향상시키는 것이 가장 중요하다고 밝히고 있다.

정진우<sup>43)</sup>(2012)는 노후주택의 리트로피트를 통한 에너지 절감효과에 대해 분석을 수행하였다. 창호를 교체하였을 경우 에너지 절감 효과는 6.66%, 벽체단열 보강공사를 실시한 경우 28.01%의 에너지 절감효과를 보였다. 90~100만원을 리트로피트에 사용하였을 경우 저감율이 21.4%로 가장 높게 나타났으며 주택의 난방면적이 작을수록 비용과 에너지 절감 측면에서 효율적인 것으로 나타났다.

선행연구에서는 노후주택의 성능개선을 위해 창호의 교체, 단열 보강 등 전면적인 개보수를 실시한 경우에 대하여 난방에너지 절감율을 분석하여 해당방안들을 거주자가 저비용으로 손쉽게 적용하기에는 어려움이 있을 것으로 판단된다.

---

42) 정창헌, 김태연, 이승복, 2010, 노후 공동주택 개보수를 통한 난방부하 저감가능성 분석, 대한건축학회 논문집 계획계, 26(7), pp.275-284

43) 정진우, 조동우, 목선수, 박아름, 박근수, 2012, 노후주택의 리트로피트를 통한 에너지 성능개선 효과 분석, 대한건축학회 논문집 계획계, 28(12), pp.427-434

## 2.5 소결

본 장에서는 노후주택의 난방에너지 절감을 위한 예비적 고찰로써 적정기술의 정의와 열손실 저감을 위한 방안 및 기존 연구에 대한 고찰을 실시하였다. 본장의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 적정기술은 인간의 필요를 충족시켜 삶의 질을 풍요롭게 만드는 것이 목적이며, 지역사회의 사회, 경제, 정치, 문화적 조건에 적합하고 환경에 대한 영향을 줄이면서 삶의 질을 향상시키는 기술이다. 적정기술에 대한 다양한 정의가 존재하지만 적정성(appropriate), 낮은 비용(low-cost), 중간(intermediate)의 의미를 내포할 경우 적정기술로 간주할 수 있다.

(2) 전통주거에서는 주택의 열손실을 감소시키기 위해 외기와 맞닿는 외피의 면적을 감소시키거나, 이중외피와 같이 외벽을 한겹 더 두르는 방안 등이 사용되었다. 현대에 이르러서는 일반적으로 사용되는 무기질, 유기질 단열재 및 진공단열재, PCM과 같은 첨단 단열재들의 개발 되었으며, 노후주택에서는 열손실 저감을 위해 저비용으로 손쉽게 적용할 수 있는 에어캡, 난방텐트, 덧담창호 등의 보급이 지속적으로 확대되고 있다.

(3) 노후주택의 성능개선에 관한 기존 연구에서는 주로 벽체의 단열보강을 실시하거나 및 기밀성능 향상을 위해 창호를 교체하는 경우 등에 대한 난방에너지 절감효과를 분석하였으며, 벽체에 단열보강을 실시할 경우 그 효율이 가장 좋은 것으로 나타났다. 그러나 이와같은 방법은 노후주택 거주자들이 저비용으로 적용하기 어렵기 때문에, 노후주택 거주자들의 경제적 여건을 고려한 개선방안을 마련하는 것이 필요함을 확인하였다.

## 제 3 장 노후주택 건물의 성능 실태 분석

### 3.1 개요

본 장에서는 주거건물의 열손실에 영향을 미치는 주요 인자인 단열과 기밀 성능을 파악한 뒤, 이를 바탕으로 효율적인 성능개선 방안 수립을 위하여 노후주택을 대상으로 성능 진단을 실시하였다. 이를 위해 대표적인 유형의 노후주택을 섭외하여 단열 및 기밀성능을 측정하였다. 또한 건물 시뮬레이션 프로그램을 사용하여 열손실이 과도하게 발생하는 취약부위를 파악하였으며, 노후주택의 성능개선 방향 설정을 위하여 다양한 개선안에 대한 연간 난방비용, 초기투자비용 회수기간을 산출하였다.

### 3.2 노후주택의 건물성능 분석을 위한 단열 및 기밀성능 측정

#### 3.2.1. 단열 및 기밀성능 측정 개요

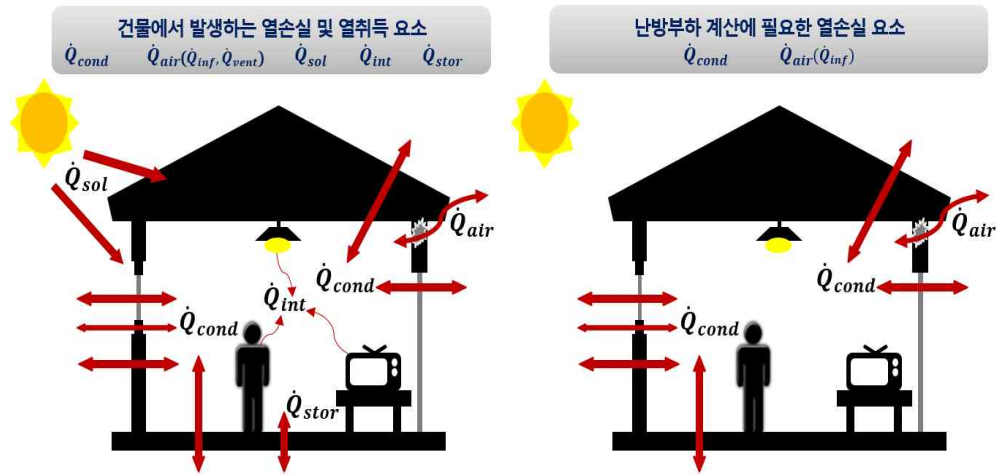
주거건물에서 발생하는 열취득 및 열손실은 벽, 문, 창문, 천장, 바닥을 통해 취득 및 손실되는 전도열  $\dot{Q}_{cond}(\dot{Q}_{wall} + \dot{Q}_{door} + \dot{Q}_{window} + \dot{Q}_{ceiling} + \dot{Q}_{floor})$ , 창문의 틈새나 출입문, 구조체를 통한 침입외기 혹은 거주자의 환기에 의해 취득 및 손실되는 열  $\dot{Q}_{air}(\dot{Q}_{inf} + \dot{Q}_{vent})$ , 일사에 의한 취득 열  $\dot{Q}_{sol}$ , 인체, 조명, 기기로부터의 발열에 의한 취득 열  $\dot{Q}_{int}(\dot{Q}_{people} + \dot{Q}_{equip} + \dot{Q}_{light})$ , 구조체의 축열 효과에 의해 취득 및 손실되는 열  $\dot{Q}_{stor}$ 에 의해 이루어진다. 이를 통해 발생하는 열  $\dot{Q}$ 는 식 (3.1)과 같이 표현할 수 있으며,  $\dot{Q}$ 의 값이 0보다 클 때 실내온



도가 감소하여 난방부하가 발생하고,  $\dot{Q}$ 의 값이 0보다 작을 때 실내온도가 증가하여 냉방부하가 발생하게 된다.

$$\dot{Q} = \dot{Q}_{cond} + \dot{Q}_{air} - \dot{Q}_{sol} - \dot{Q}_{int} \pm \dot{Q}_{stor} \quad (3.1)$$

주거 건물의 경우 재실자가 주로 야간에 재실하며, 재실 시 열손실로 인해 감소한 실내온도를 쾌적하게 유지하기 위해 공급해야 하는 열량인 난방부하가 미치는 영향이 크기 때문에 결론적으로 난방에너지를 저감하기 위해서는 난방부하를 감소시키는 것이 중요하다. 난방부하의 계산 시  $\dot{Q}_{air}(\dot{Q}_{inf} + \dot{Q}_{vent})$  중 환기에 관한 항목인  $\dot{Q}_{vent}$ 는 자연환기 및 기계환기를 고려하지 않으므로 제외하며,  $\dot{Q}_{sol}$ ,  $\dot{Q}_{int}$ ,  $\dot{Q}_{stor}$ 는 최악의 상황을 가정하기 위해 계산에서 제외한다. 최종적으로 난방부하 계산을 위해 필요한 열손실 요소는 [그림 3.1]과 같이  $\dot{Q}_{cond}$ 과  $\dot{Q}_{air}(\dot{Q}_{inf})$ 이며 각 요소의 계산을 위한 수식은 <표 3.1>과 같다. <표 3.1>에 제시된 수식의 항목 중 열관류율 및 침기량은 성능개선이 비교적 용이하지만 그 이외의 요소들은 건물 및 물리적 특성으로 성능개선이 어려우므로 노후주택에서 난방에너지 절감을 위해서는 열관류율 및 침기량을 개선하는 일이 필요하다고 할 수 있다. 따라서 노후주택의 열관류율 및 침기량을 바탕으로 효율적인 개선방안을 수립하기 위하여, 이를 파악하기 위한 측정방법을 선정하였다.



[그림 3.1] 주거건물의 난방부하 산출요소

<표 3.1> 난방부하 요소 및 계산을 위한 수식



| 요소               | 수식  |   |
|------------------|---|---|
| $\dot{Q}_{cond}$ | $q = UA\Delta t$  | $U$ : 열관류율 [W/m <sup>2</sup> K]<br>$A$ : 각 부위의 면적 [m <sup>2</sup> ]<br>$\Delta t$ : 실내외온도차 [K]  |
| $\dot{Q}_{air}$  | $q = \rho C_p \dot{V} \Delta t$<br>(현열)<br>$q = \dot{V} r \Delta t$<br>(잠열) | $\dot{V}$ : 침기량 [m <sup>3</sup> /h]<br>$\rho$ : 공기의 밀도 [1.2kg/m <sup>3</sup> ]<br>$C_p$ : 공기의 비열 [1.01kJ/kgK]<br>$r$ : 수증기의 증발잠열<br>$\Delta t$ : 실내외온도차 [K]<br>$\Delta x$ : 실내외 절대습도차 [kg/kg] |

#### (1) 단열성능 측정방법

노후주택은 완공이후 유지 및 관리를 위한 도배를 추가적으로 실시하지 않았을 경우 노후화로 인해 구조체에서 벽지가 박리되어 있거나 벽지 자체에 손상이 발생했을 가능성이 크다. 이와 같은 주택 부위에 HFM을 이용하여 열관

류율 측정을 실시하게 되면 HFM을 측정부위에 밀착시키기 어렵기 때문에 오차가 발생할 가능성이 증가하게 되므로 IR Method를 열관류율 측정방법으로 선정하였다. 각 방법에 대한 측정방법은 <표 3.2>와 같다.

<표 3.2> 단열성능 측정방법

| 구분 | HFM(Heat Flow Meter) Method   | IR(Infrared) Method   |
|----|---|---|
| 원리 | $U = \frac{q}{t_i - t_o}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>측정기준 : ISO 9869</li> <li>HFM을 이용하여 측정부위의 열류 산출</li> <li>산출된 열류를 실내외 온도차로 나눠 열관류율 계산</li> </ul>  | $U = h_i \frac{t_i - t_{is}}{t_i - t_o}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>측정기준 : ISO 6781, KS 2829</li> <li>IR 카메라를 이용하여 건축물 표면의 온도분포 파악</li> <li>온도측정기를 이용하여 실내외 온도파악</li> <li>건축물의 표면열전달계수와 표면온도 실내외 온도를 이용하여 열관류율 계산</li> </ul>  |
| 특징 | <ul style="list-style-type: none"> <li>건물의 열관류율을 대표할 수 있는 부위를 측정지점으로 선정해야 함</li> <li>측정시간이 비교적 오래 걸림</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>대표지점 선정이 필요하지 않음</li> <li>HFM에 비해 짧은 측정시간</li> <li>정확한 표면열전달계수 산정 필요</li> </ul>  |
| 비고 | $U$ : 열관류율 [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ]<br>$q$ : 열류 [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]<br>$t_i$ : 실내온도 [ $^{\circ}\text{C}$ ]   | $t_{is}$ : 실내 표면온도 [ $^{\circ}\text{C}$ ]<br>$t_o$ : 실외온도 [ $^{\circ}\text{C}$ ]<br>$h_i$ : 실내 표면열전달계수 [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ]  |

노후주택의 단열성능을 보다 정확하게 평가하기 위해서는 열교의 영향을 받지 않는 Clear field 부위의 열관류율 뿐만 아니라 열교 부위의 선형 및 점형 열관류율을 평가하는 것이 필요하다. 선형 및 점형 열관류율을 계산하는 방법은 ISO 10211에서 규정하고 있으며 해당 수식은 각각 식 (3.2), 식 (3.3)와 같다.

$$\psi = L_{2D} - \sum_{j=1}^{N_j} U_j l_j \quad (3.2)$$

여기서,  $\psi$  : 선형 열관류율 [W/mK]

$L_{2D}$  : 평가대상 부위의 단위길이당 2차원 전열량 [W/mK]

$U_j$  : 열교와 이웃하는 Clear field 부위의 열관류율 [W/m<sup>2</sup>K]

$l_j$  :  $U_j$ 의 열관류율 값을 가지는 Clear field 부위 길이 [m]

$$\chi = L_{3D} - \sum_{i=1}^{N_i} U_i A_i - \sum_{j=1}^{N_j} \psi_j l_j \quad (3.3)$$

여기서,  $\chi$  : 점형 열관류율 [W/K]

$L_{3D}$  : 평가대상 부위의 3차원 전열량 [W/K]

$U_i$  : 열교와 이웃하는 Clear field 부위의 열관류율 [W/m<sup>2</sup>K]

$A_i$  :  $U_i$ 의 열관류율 값을 가지는 Clear field 부위의 면적 [m<sup>2</sup>]

$\psi_j$  : 점형 열교 부위와 이웃하는 열교 부위의

선형 열관류율 [W/mK]

$l_j$  :  $\psi_j$ 의 선형 열관류율 값을 가지는 열교 부위 길이 [m]

식 (3.2), 식 (3.3)을 통해 선형 및 점형 열관류율을 산출하기 위해서는 구조체에서의 전열량을 계산해야 하며, 전열량은 수계산을 통해 파악하기 어렵기 때문에 일반적으로 전열해석 프로그램을 이용하여 계산하게 된다. 그러나 실내측에서 IR 카메라로 열교 부위를 촬영하게 되면 IR 카메라 제조사에서 제공하는 소프트웨어를 이용하여 해당부위의 평균 표면온도를 알 수 있고, 실내 온도와 평균 표면온도의 차이를 열교 부위의 면적과 표면 열전달계수와 곱해 전열량을 계산할 수 있다. 따라서 노후주택의 단열성능을 측정하기 위해 IR Method를 사용하여 열교의 영향을 받지 않는 Clear field의 열관류율을 산출하고, IR 카메라를 이용하여 전술한 바와 같이 전열량을 계산한 뒤 식 (3.2), 식 (3.3)을 통해 열교부위의 선형 및 점형 열관류율을 산출하고자 하였으며, 주택 부위 별로 열교발생 여부가 다르기 때문에 측정방법을 다르게 적용하고자 하였다.

외벽은 벽과 바닥, 벽과 벽, 벽과 천장의 접합부 등과 같은 우각부를 따라 열교가 발생할 가능성이 높기 때문에 Clear field와 열교부위의 열관류율을 각각 산출하는 것이 필요하다. 또한 열교부위의 경우 벽과 바닥의 접합부위와 같이 두 개의 주택 부위가 만나 2차원 열흐름이 발생하는 부위는 선형 열관류율로 평가되어야 하며, 벽과 천장, 바닥의 접합부위와 같이 세 개의 주택 부위가 만나 3차원 열흐름이 발생하는 부위는 점형 열관류율로 평가되어야 하므로 외벽은 Clear field의 열관류율, 선형 및 점형 열관류율을 각각 산출한다.

내벽과 실내문은 외기에 접하지 않으며 열교의 영향이 적기 때문에 균일한 표면 온도분포를 보여 단일의 단열성능을 나타낼 것으로 예상되므로 Clear field의 열관류율만 산출한다.

현관문의 경우 열성능이 서로 다른 부재가 만나게 되는 외벽과 접한 테두리에서 선형열교가 발생할 가능성이 높으므로 Clear field의 열관류율과와 선형 열관류율을 산출하는 것이 필요하며, 현관문과 외벽이 접한 부위의 틈을 통해 발생하는 침기가 현관문의 표면온도를 변화시키는 것을 방지하기 위해 열전도율이 높은 테이프로 틈을 막고 표면온도 실측을 실시한다.

창문은 Glass의 Center 부분, Glass 중 Frame과 인접한 Edge 부분 그리고 Frame이 다른 온도분포를 보이기 때문에 각각의 열관류율을 산출한 뒤 면적가중평균을 내는 것이 필요하다. 또한 현관문의 경우와 같이 외벽과 접한 부위에서 선형열교가 발생할 가능성이 높고 틈을 통해 침기가 발생하므로 선형 열관류율을 산출하며 테이프로 틈을 막고 표면온도를 실측한다.

천장의 경우 외벽과 접합부위에서 열교가 발생하지만 천장과 외벽을 통해 각각 빠져나가는 열손실 비율을 산출하기 어려우므로 천장과 외벽의 접합부에서 발생하는 열교에 의한 열손실은 외벽의 열관류율 산출 시 반영하며 천장의 열관류율은 Clear field 부위에 대해 산출한다.

바닥 또한 외벽과 접합부위에서 열교가 발생하지만 천장과 동일한 이유로 Clear filed 부위의 열관류율만 산출한다. 다만 노후주택의 바닥은 Slab on grade 형태가 일반적이며 이때 바닥을 통해 발생하는 열손실은 Perimeter를 통해 대부분 발생하기 때문에 IR Method를 사용하여 열관류율을 산출할 경우 열손실이 과대평가될 가능성이 높다. 따라서 Slab on grade 형태의 바닥은 식(3.3)을 통해 열손실을 산출한 뒤 식(3.4) ~ 식(3.7)을 사용하여 열관류율을 계산하는 것으로 한다.

$$q = F_2 P (t_i - t_o) \quad (3.4)$$

$$q = UA (t_i - t_g) \quad (3.5)$$

$$F_2 P (t_i - t_o) = UA (t_i - t_g) \quad (3.6)$$

$$U = \frac{F_2 P (t_i - t_o)}{A (t_i - t_g)} \quad (3.7)$$

여기서,  $q$  : 바닥의 Perimeter를 통한 열손실 [W]

$F_2$  : Perimeter의 단위길이당 열손실계수 [W/mK]

$P$  : Perimeter의 길이 [m]

$U$  : 바닥의 열관류율 [W/m<sup>2</sup>K]

$A$  : 바닥면적 [m<sup>2</sup>]

$t_i$  : 실내온도 [°C]

$t_o$  : 외기온도 [°C]

$t_g$  : 지중온도 [°C]

## (2) 기밀성능 측정방법

Blower Door Test는 기밀도를 측정하고자 하는 실의 문에 팬과 차압계를 설치하여 일정한 압력차이를 유지시켰을 때 가해지거나 감해지는 기류량을 측정하는 방법이다. Blower Door Test를 통해 실내외 압력차와 기류량을 식 (3.8)의 형태로 도출하고 이를 통해 특정 차압에서의 기류량을 예측할 수 있다.

$$\dot{V} = C(\Delta P)^n \quad (3.8)$$

여기서  $\dot{V}$  : Airflow [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]

$C$  : Concentration [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$\Delta P$  : Pressure difference [Pa]

$n$  : Flow exponent [무차원]

측정의 정확도 향상을 위해 여러 압력 범위에서 측정이 실시되며 이때 압력 범위는 10 ~ 100Pa에서 약 5 ~ 10Pa씩 변화시키며 해당 압력에서 흐르는 기류량을 측정한다.

농도의 추적이 가능한 가스를 일정량 발생시킨 후, 가스의 농도를 측정하여 기류량을 측정하는 방법이며 이를 통해 기류량을 식(3.9)의 형태로 도출하게 된다.

$$\dot{V} = \frac{\dot{E}}{C} \quad (3.9)$$

여기서  $\dot{V}$  : Airflow [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]

$\dot{E}$  : Emission rate [ $\text{kg}/\text{h}$ ]

$C$  : Concentration [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]



추적가스로는 대기중에 존재하지 않는 SF6를 주로 사용하며 추적가스를 측정공간에 고르게 분포시키기 위해 팬을 사용하여 확산을 유도한다. Tracer Gas Method는 측정건물의 자연상태에서 발생하는 기류량을 파악할 수 있다는 장점이 있으나 실내외 온도차, 바람 등의 조건에 따라 결과값이 변화할 수 있으므로 관련 기준(ISO 12569, ASTM E 741-00 등)에서 제시하는 실측조건을 유의하여 형성하는 것이 필요하다.

Blower Door Test는 Tracer Gas Method에 비해 실내외 압력차이에 따른 침기량을 파악하기 용이하고, 기온 풍속과 같은 기상조건이 측정값에 미치는 영향이 적기 때문에 Blower Door Test를 노후주택의 기밀성능 측정방법으로 선정하였다.

<표 3.3> 기밀성능 측정방법

| 구분 | Tracer Gas Method  | Blower Door Test  |
|----|--|---|
| 원리 | $\dot{V} = \frac{\dot{E}}{C}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>농도의 추적이 가능한 가스를 일정량 발생시킨 후, 가스의 농도를 측정하여 기류량을 측정하는 방법</li> </ul>              | $\dot{V} = C(\Delta P)^n$ <ul style="list-style-type: none"> <li>측정하고자 하는 실의 문에 팬과 차압계를 설치하여 일정한 압력차이를 유지시켰을 때 가해지거나 감해지는 기류량을 측정하는 방법</li> </ul> |
| 특징 | <ul style="list-style-type: none"> <li>추적가스로는 대기중에 존재하지 않는 SF6 가스를 주로 사용</li> <li>기밀성능 뿐만 아니라 공기유동 경로파악, 오염발생량 측정 등 다양한 환기 관련 실험에 응용 가능</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Tracer Gas Method에 비해 비교적 적은 비용으로 신속하게 측정대상의 기밀성능 파악 가능</li> </ul>   |
| 비고 | $\dot{V}$ : Airflow [m3/h]<br>$\dot{E}$ : Emission rate [kg/h]<br>$C$ : Concentration [kg/m3]  | $\Delta P$ : Pressure difference [Pa]<br>$n$ : Flow exponent [무차원]  |

### 3.2.2. 측정 대상주택 선정

노후주택 개보수 프로세스의 검증을 위해 건물연한이 오래되어 난방에너지 절감을 위한 개선이 필요하며, 실측의 정확성 향상을 위해 부하의 원인이 될 가능성이 높은 거주자의 수가 적은 조건에 부합하는 노후주택 두 가구를 선정하였다. 선정된 노후주택의 개요 및 주요 형상과 평면은 <표 3.4>, <표 3.5>와 같다.

<표 3.4> 대상건물 현황

| 구분    | 주택A(비거주)  | 주택B(거주)                    |
|-------|-----------|----------------------------|
| 위치    | 서울특별시 동작구 |                            |
| 주택 형태 | 단독주택      | 단독주택                       |
| 완공년도  | 1968년     | 1984년                      |
| 규모    | 약 5평      | 약 40평                      |
| 향     | 남향        | 동향                         |
| 천장형태  | 박공지붕      | 박공지붕                       |
| 난방설비  | 기름보일러     | 기름보일러 : 바닥난방<br>연탄난로 : 거실용 |

<표 3.5> 대상건물 주요부위 사진 및 평면

| 구분 | 주택A(비거주)  | 주택B(거주)  |
|----|---|--|
| 외부 |    |    |
| 내부 |    |    |
| 벽체 |   |   |
| 창문 |  |  |
| 평면 |  |  |

### 3.2.3. 단열 및 기밀성능 측정결과

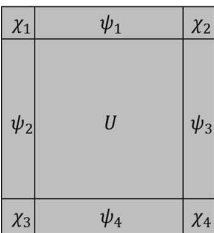
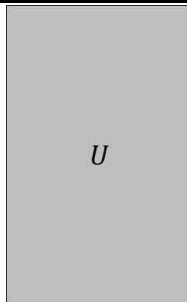
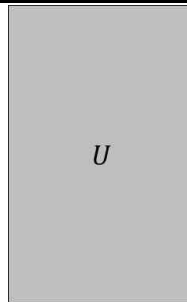
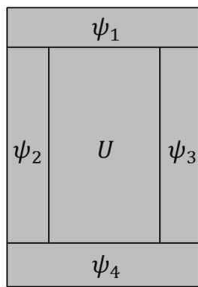
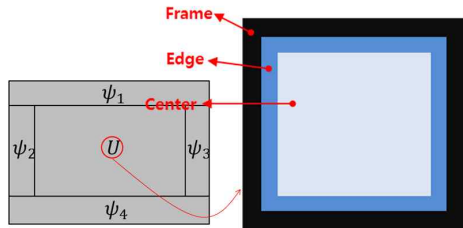
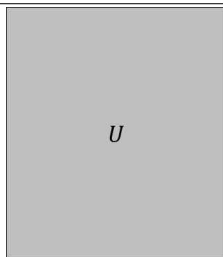
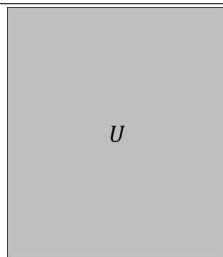
#### 가. 단열성능 측정결과

노후주택의 부위별 단열성능 측정부위 및 결과는 <표 3.6>, <표 3.7>, <표 3.8>과 같다. <표 3.7> <표 3.8>의 국내기준으로 현행 건축물 설계 시 준수

해야 하는 열관류율이 규정되어 있는 에너지절약설계기준, 국외기준으로는 주택성능기준 연구 및 문헌에서 주로 사용되는 독일의 패시브하우스 기준을 측정결과와 함께 명시하여 노후주택의 단열성능과 비교하고자 하였다. 국내외 기준 모두 Clear field와 열교부위의 단열성능을 통합한 열관류율 기준을 사용하지 않고 Clear field의 열관류율만을 규정하고 있으며, 열교부위에 대해서는 열교가 발생하지 않도록 설계 및 시공하거나, 최소화 하도록 권장하고 있다.

주택에서 차지하는 면적 비중이 가장 크기 때문에 많은 양의 열손실이 발생할 것으로 예상되는 외벽의 경우, 열관류율이 주택A는  $1.370\text{W/m}^2\text{K}$ , 주택B는  $0.928\text{W/m}^2\text{K}$ 로 외벽의 단열기준이 최초로 생성된 1979년의 열관류율 ( $1.05\text{W/m}^2\text{K}$ ) 수준에도 미치지 못하거나 그와 유사한 수준을 각각 보이고 있어 두 주택 모두 단열성능이 굉장히 취약한 것을 알 수 있다.

<표 3.6> 열관류율 측정 부위

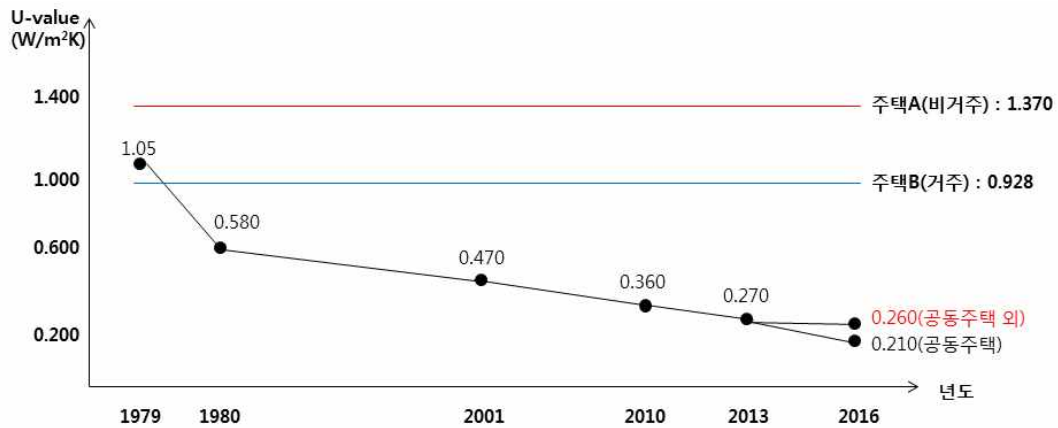
|   |  |   |   |
|---|--|---|---|
|  |   |   |  |
| 외벽  | 내벽   | 실내문   | 현관문   |
|  |  |  |   |
| 창문  | 천장   | 바닥  |   |

<표 3.7> 단열성능 측정결과 - 외벽, 내벽, 실내문, 천장, 바닥

| 부위  |             | 주택A(비거주)                        |                  |                 | 주택B(거주)                         |                  |                 | 국내기준                            | 국외기준                            |
|-----|-------------|---------------------------------|------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|-----------------|---------------------------------|---------------------------------|
|     |             | U-value<br>[W/m <sup>2</sup> K] | $\psi$<br>[W/mK] | $\chi$<br>[W/K] | U-value<br>[W/m <sup>2</sup> K] | $\psi$<br>[W/mK] | $\chi$<br>[W/K] | U-value<br>[W/m <sup>2</sup> K] | U-value<br>[W/m <sup>2</sup> K] |
| 외벽  | Clear field | 1.370                           | —                | —               | 0.928                           | —                | —               | 0.260                           | 0.15                            |
|     | $\psi_1$    | —                               | 0.454            | —               | —                               | —                | —               | —                               | —                               |
|     | $\psi_2$    | —                               | 0.319            | —               | —                               | —                | —               | —                               | —                               |
|     | $\psi_3$    | —                               | 0.055            | —               | —                               | —                | —               | —                               | —                               |
|     | $\psi_4$    | —                               | 0.851            | —               | —                               | —                | —               | —                               | —                               |
|     | $\chi_1$    | —                               | —                | 0.234           | —                               | —                | —               | —                               | —                               |
|     | $\chi_2$    | —                               | —                | 0.112           | —                               | —                | —               | —                               | —                               |
|     | $\chi_3$    | —                               | —                | 0.331           | —                               | —                | —               | —                               | —                               |
|     | $\chi_4$    | —                               | —                | 0.126           | —                               | —                | —               | —                               | —                               |
|     | $U_{wall}$  | 1.822                           | —                | —               | 1.237                           | —                | —               | —                               | —                               |
| 내벽  | Clear field | 1.605                           | —                | —               | 2.751                           | —                | —               | —                               | —                               |
| 실내문 | Clear field | 1.005                           | —                | —               | 2.992                           | —                | —               | —                               | —                               |
| 천장  | Clear field | 0.940                           | —                | —               | 2.751                           | —                | —               | 0.220                           | 0.15                            |
| 바닥  | Clear field | 2.415                           | —                | —               | 1.492                           | —                | —               | 0.220                           | 0.15                            |

<표 3.8> 단열성능 측정결과 - 현관문, 창문

| 부위  |                    | 주택A(비거주)           |                  |                 | 주택B(거주)            |                  |                 | 국내기준               | 국외기준               |
|-----|--------------------|--------------------|------------------|-----------------|--------------------|------------------|-----------------|--------------------|--------------------|
|     |                    | U-value<br>[W/m²K] | $\psi$<br>[W/mK] | $\chi$<br>[W/K] | U-value<br>[W/m²K] | $\psi$<br>[W/mK] | $\chi$<br>[W/K] | U-value<br>[W/m²K] | U-value<br>[W/m²K] |
| 현관문 | Clear field        | 2.206              | –                | –               | –                  | –                | –               | 1.500              | –                  |
|     | $\psi_1$           | –                  | 0.339            | –               | –                  | –                | –               | –                  | –                  |
|     | $\psi_2$           | –                  | 0.062            | –               | –                  | –                | –               | –                  | –                  |
|     | $\psi_3$           | –                  | 0.062            | –               | –                  | –                | –               | –                  | –                  |
|     | $\psi_4$           | –                  | 1.341            | –               | –                  | –                | –               | –                  | –                  |
|     | $U_{door-ext}$     | 3.016              | –                | –               | –                  | –                | –               | –                  | –                  |
| 창문  | $U_{center}$       | 2.713              | –                | –               | 4.235              | –                | –               | –                  | –                  |
|     | $U_{edge}$         | 2.459              | –                | –               | 3.791              | –                | –               | –                  | –                  |
|     | $U_{frame}$        | 1.621              | –                | –               | 4.430              | –                | –               | –                  | –                  |
|     | $U_{window}$       | 2.345              | –                | –               | 3.854              | –                | –               | 1.500              | 0.8                |
|     | $\psi_1$           | –                  | 0.217            | –               | –                  | –                | –               | –                  | –                  |
|     | $\psi_2$           | –                  | 0.164            | –               | –                  | –                | –               | –                  | –                  |
|     | $\psi_3$           | –                  | 0.164            | –               | –                  | –                | –               | –                  | –                  |
|     | $\psi_4$           | –                  | 0.209            | –               | –                  | –                | –               | –                  | –                  |
|     | $U_{window-total}$ | 2.452              | –                | –               | 4.102              | –                | –               | –                  | –                  |



[그림 3.2] 국내주택 기준과 실측주택의 열관류율 비교(외벽, 중부지역 기준)

#### 나. 기밀성능 측정결과

기밀성능 측정결과는 <표 3.9>와 같다. 주택A는 기밀도 측정을 위해 팬을 사용하여 분석대상 실에 기류를 발생시켜 압력을 걸었을 시 현관문 틈, 창문 틈 등으로 기류가 세어나와 실내외 차압을 유지시키기 어려워 기밀도를 측정할 수 없었다.

따라서 추후 시뮬레이션을 통해 기밀도를 예측하는 방법 등을 사용하여 기밀도를 산출하는 것이 필요할 것으로 판단된다. 주택B의 경우 자연상태에서의 기밀도로 볼 수 있는 ACH4의 값이 0.4로 ACH50 0.6인 국외기준(패시브 하우스 기준)과 직접적인 비교는 불가능 하지만 이를 통해 자연상태에서의 기밀도를 유추해볼 때 우수한 기밀성능을 갖는 것으로 분석할 수 있다. 이와 같은 결과는 주택B의 경우 도배 등과 같은 주택의 유지 및 관리상태가 우수하여 나타난 것으로 판단된다.

<표 3.9> 기밀성능 측정결과

| 구분    | 주택A<br>(비거주) | 주택B<br>(거주) | 국내기준<br>(공동주택) | 국외기준 |
|-------|--------------|-------------|----------------|------|
| $C$   | 측정불가         | 7.119       | -              | -    |
| $n$   |              | 0.515       | -              | -    |
| ACH50 |              | 2.48        | 6              | 0.6  |
| ACH4  |              | 0.4         | -              | -    |

### 3.3 시뮬레이션을 통한 노후주택의 부위별 열손실 분석

#### 3.3.1. 시뮬레이션 프로그램 선정

시뮬레이션 프로그램은 미국 DOE(Department of Energy)에서 개발되어 매 시각별 건물 부하와 에너지 소비 특성을 비정상상태로 해석하여 정밀한 에너지 성능 분석 시 주로 사용되는 검증된 상용 프로그램인 EnergyPlus V8.5를 선정하였다.

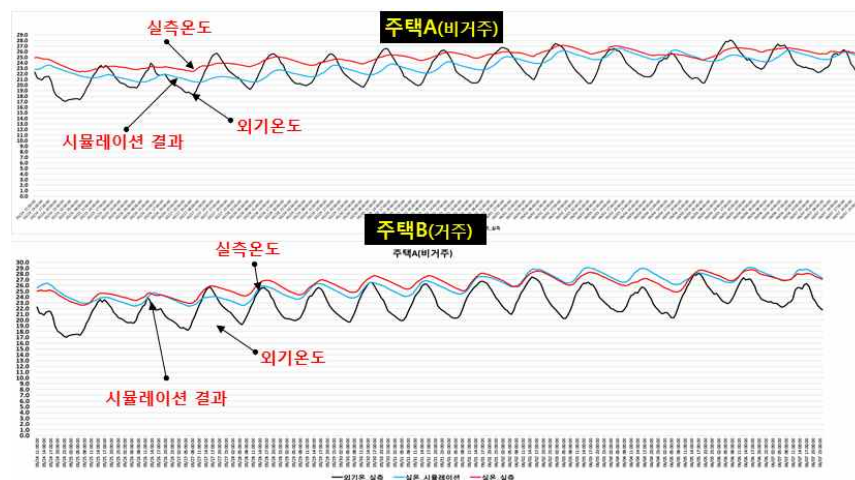
EnergyPlus를 사용하여 대상건물을 모델링하기 위해서는 건물의 치수와 실측을 통해 파악한 단열 및 기밀성능 값 이외에도 건물을 구성하는 재료, 해당 재료의 비열 및 밀도 등 다양한 값들을 Input data로 입력해야 한다. 그러나 이와 같은 값들을 모두 실측을 통해 파악하기는 쉽지 않으므로 선행연구 및 관련 문헌에서 제시된 값을 참고하여 사용하였으며, 실측 시의 외기 조건으로 수행한 수차례의 예비 시뮬레이션과 실측 결과와의 비교 및 보정과정을 통해 모델링을 수행하였다.



### 3.3.2. 시뮬레이션 모델 검증

#### 가. 실내온도

실측결과와 검증의 검증에 위해 ASHRAE Guideline 14에서 권장하는 MBE(Mean Bias Error)와 CVRMSE(Coefficient of Variation of the Root-Mean-Squared Error)를 사용하여 정확도를 판단하였다. MBE는 10% 이하 CVRMSE는 30%이하인 경우 적용성이 뛰어나다고 판단된다. [그림 3.3]과 같이 실측 및 시뮬레이션을 통한 온도를 도출한 뒤, 주택A, 주택B에 관한 검증을 실시한 결과는 <표 3.10>과 같으며 결과값이 모두 해당범위 내에 있으므로 실측결과가 타당하고 판단할 수 있다.



[그림 3.3] 실측 및 시뮬레이션 실내온도 비교

<표 3.10> MBE 및 CVRMSE 산출결과

| 구분     | 주택A(비거주) | 주택B(거주) |
|--------|----------|---------|
| MBE    | 0.93%    | 5.97%   |
| CVRMSE | 3.37%    | 6.79%   |

#### 나. 난방기구 전력소비량

외기온도가 높은 상황에서 난방을 가동하기 위해 설정온도를 30℃로 맞추고 난방을 가동하였으며, 이때의 전력소비량 실측값과 시뮬레이션 값을 비교하였다. 실측정보 및 결과는 각각 <표 3.11>, <표 3.12>와 같다. 결과값 사이에 오차가 발생하였으나 그 범위가 10% 이내로 크지 않으므로 단열 및 기밀 성능 실측결과가 타당하다고 판단할 수 있다.

<표 3.11> 전력소비량 실측 정보

| 항목   | 내용   |
|------|--|
| 난방기구 | Electrolux EPH-2016TWBS  |
| 설정온도 | 30℃  |
| 측정기간 | 주택A : '16.04.19 13:00 ~ '16.04.22 18:00 (76h)<br>주택B : '16.05.01 14:00 ~ '16.05.04 07:00 (63h) |
| 전력량계 | Voltcraft Energy logger 4000   |

<표 3.12> 전력소비량 실측 및 시뮬레이션 결과

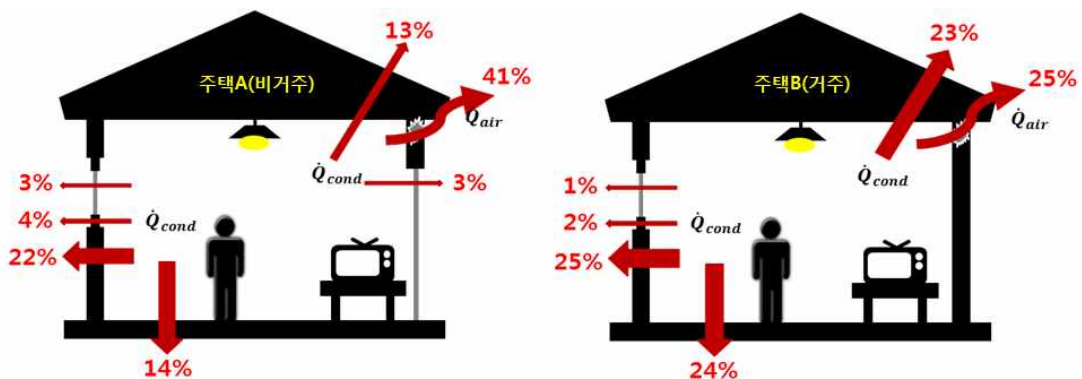
| 전력소비량 | 주택A(비거주) | 주택B(거주) |
|-------|----------|---------|
| 실측    | 54.8kWh  | 27.0kWh |
| 시뮬레이션 | 57.5kWh  | 29.5kWh |
| 오차율   | 5%       | 9%      |

### 3.3.3. 노후주택의 부위별 열손실 산출결과

#### 가. 기간부하

정밀 에너지 시뮬레이션을 바탕으로 동절기 동안(1월, 2월, 12월)의 부위별 열손실을 파악하였다. 시뮬레이션을 통해 건물의 열손실을 파악한 결과, [그림 3.4]와 같이 외벽 천장 바닥 침기로 인한 열손실이 큰 것으로 나타났다.

주택단열 개수 지침서에 기록된 주택의 부위별 열손실 비율과 분석결과 사이의 유사성을 찾기 어려우며, 노후주택 성능 개선 시, 주택단열 개수 지침서의 비율을 근거로 할 경우 원하는 성능개선 효과를 얻기 어려울 것으로 판단됨. 따라서 성능개선이 필요한 노후주택에 대해 열손실 비율을 파악한 뒤 성능 개선을 실시하는 것이 필요하다.



[그림 3.4] 주택 부위별 열손실 비율

<표 3.13> 열손실 비율 비교

| 구분             | 외벽 | 현관문 | 창문 | 천장 | 바닥 | 침기 | 계   |
|----------------|----|-----|----|----|----|----|-----|
| 주택단열 개수 지침서(%) | 19 | -   | 24 | 39 | 9  | 9  | 100 |
| 주택A(%)         | 20 | 3   | 7  | 12 | 20 | 39 | 100 |
| 주택B(%)         | 29 | -   | 3  | 26 | 19 | 25 | 100 |

#### 나. 피크부하

피크부하는 주택 A, B 모두 1월 24일 오전 8시경에 발생하였으며 그 결과는 <표 3.14>와 같다. 주택 A의 경우 침기, 외벽, 바닥, 천장 순으로 열손실이 주로 발생하였으며, 주택 B의 경우 외벽, 침기, 바닥, 천장 순으로 열손실이 발생하였다. 주택 A에 비해 주택 B의 경우 침기에 의한 열손실 비율이 낮을 것을 볼 수 있으며, 이와 같은 결과는 주택 B의 경우 거주자의 의사에 따라 기밀보강이 실시되어 침기에 의한 열손실이 상대적으로 낮게 나타난 것으로 분석된다. 현재 공동주택의 단위면적당 부하가 약 50 ~ 60W 인 것을 고려할 때 두 주택의 경우 열손실 저감을 위한 개선이 필요함을 알 수 있다.

<표 3.14> 피크부하 발생 시 부위별 열손실

| 부위                                 |       | 주택A(비거주) |       | 주택B(거주) |       |
|------------------------------------|-------|----------|-------|---------|-------|
|                                    |       | 열손실[W]   | 비율[%] | 열손실[W]  | 비율[%] |
| 외벽                                 |       | 373.2    | 21    | 353.9   | 44    |
| 현관문                                |       | 75.6     | 4     | -       |       |
| 창문                                 | Glass | 86.0     | 5     | 16.7    | 2     |
|                                    | Frame | 92.0     | 5     | 26.9    | 3     |
| 천장                                 |       | 209.5    | 12    | 71.7    | 9     |
| 바닥                                 |       | 216.9    | 12    | 120.6   | 15    |
| 침기                                 |       | 715.5    | 40    | 222.1   | 27    |
| 단위면적당<br>부하<br>(W/m <sup>2</sup> ) |       | 167.9    | -     | 82.3    | -     |

### 3.4 노후주택 성능개선 방향 설정을 위한 LCC 분석

#### 3.4.1. LCC 분석 대안 선정

노후주택 성능개선 방향설정을 위해 다양한 대안에 대한 LCC 분석을 실시하였다. 대안은 투자회수기간을 단축시키기 위해 초기투자비용을 적게 사용하여 주택성능개선을 실시하는 비용중심의 대안과, 투자회수기간을 고려하지 않고 성능개선을 우선시 하는 방안으로 주택성능개선을 실시하는 성능중심 대안으로 선정하였다. 비용중심 개선 대안의 경우 초기투자비용은 정부 지원 제도 중 노후주택 거주자들이 혜택을 받을 가능성이 높은 지원제도의 지원금액으로 산정하여 3년 및 5년치 지원금액을 초기투자비용으로 사용하여 개선하는 대안을 각각 산정하였다. 지원제도 및 지원금액 정보는 <표 3.15>와 같으며 최악의 상황을 가정하기 위해 에너지 바우처의 지원금은 81,000원, 한전 복지할인 지원금은 2,000원/월의 합계인 105,000원을 1년치 지원금액으로 산정하였다. 성능중심 개선 대안의 경우 현재 최소한 갖추어야하는 건물성능인 법규수준으로 개선하는 것으로 가정하였다

<표 3.15> 지원제도에 따른 지원금액

| 지원제도    | 지원대상              | 지원금액   |
|---------|-------------------|--|
| 에너지 바우처 | 에너지 취약계층          | 1인 가구 - 81,000원<br>2인 가구 - 102,000원<br>3인 가구 - 114,000원<br>(동절기 1회 지급) |
| 한전 복지할인 | 차상위계층,<br>기초생활수급자 | 매월 2,000원<br>매월 4,000원<br>매월 8,000원<br>(주거 수준에 따라 차등<br>지급)            |

성능개선 시 투자비용을 한 부위에 대해 사용할 경우 개선효율이 저하되므로, 투자비용을 분할하여 성능개선을 실시하였다. 투자비용을 분할하여 성능개선을 실시할 경우 성능개선 비율이 다르므로 그 비율이 가장 높은 부위를 중심으로 개선하고, 두 번째 효율이 높은 부위에도 일부 투자하여 개선을 실시하였다. 개선대안 선정결과는 <표 3.16>과 같다.

<표 3.16> 주택 별 LCC 분석대안 선정결과

| 대안             |     | 내용                         | 개선부위   |        |
|----------------|-----|----------------------------|--------|--------|
|                |     |                            | 주택A    | 주택B    |
| 대안 1<br>(비용중심) | 1-1 | 3년치 지원금액을 초기투자비용으로 사용하여 개선 | 외벽, 바닥 | 외벽, 천장 |
|                | 1-2 | 5년치 지원금액을 초기투자비용으로 사용하여 개선 | 외벽, 바닥 | 외벽, 천장 |
| 대안 2<br>(성능중심) |     | 초기투자비용 미고려                 | 전 부위   |        |

### 3.4.2. LCC 분석결과

적정기술의 범위 내에서 노후주택을 개선하기 위해 고체가 아닌 간단히 단열재를 부착(압출법 보온판 : Isopink)하는 것에 따라 성능이 개선되는 것을 분석하였다. 단위면적당 단열재 설치비용은 단열재 단가(8,642원/m<sup>2</sup>)와 시공비(5,082원/m<sup>2</sup>)의 합인 13,724원으로 산정하였으며 이때 시공비용은 거주자가 직접 시공하는 것으로 가정하여 물가정보에 명시된 단가의 50%를 적용하였다. 침기는 선행연구를 참고하여 30% 성능이 개선되는 것으로 가정하였다.

분석결과는 <표 3.17> <표 3.18>과 같으며, 주택을 법규수준으로 개선할 경우 큰 초기투자비용 발생으로 인해 회수기간이 과도하게 오래 걸리므로 경제적이 거의 없는 것으로 나타났다. 지원금액을 초기투자비용으로 산정하여 주택 개선 시, 법규수준으로 개선하는 것에 비해 연간 난방비용 절감율은 줄어들지만 회수기간이 감소하므로 경제성은 상대적으로 우수한 것으로 분석되었다.

현재 지원금액 수준으로는 노후주택 거주자들의 연간 난방비용을 충당하지 못하고, 거주자들의 형편에 따라 चु게 지내게 될것으로 판단된다. 높은 수준의 에너지 절감뿐만 아니라 거주자의 쾌적성을 향상시키기 위해서는 법규수준을 만족시키도록 적정기술을 개발하는 것이 필요하며, 이때 발생하는 비용을 최소화 할 수 있는 방향으로 개발하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

<표 3.17> 주택A 경제성 분석 결과

| 대안                          | 주택 개선전   | 1-1<br>(3년 지원금액) | 1-2<br>(5년 지원금액) | 2<br>(법규 수준) |
|-----------------------------|----------|------------------|------------------|--------------|
| 초기투자비용                      | -        | 309,764원         | 512,997원         | 911,512원     |
| 개선부위                        | -        | 외벽, 바닥           | 외벽, 바닥           | 전 부위         |
| 초기투자비용<br>회수기간              | -        | 6년               | 9년               | 16년          |
| 연간<br>난방비용(A)               | 178,810원 | 126,584원         | 120,399원         | 81,147원      |
| 연간<br>지원금액(B)               | 105,000원 |                  |                  |              |
| 거주자부담금<br>(A-B)             | 73,810원  | 21,584원          | 15,399원          | -23,853원     |
| 개선전 대비<br>연간<br>난방비용<br>절감율 | -        | 29%              | 33%              | 55%          |

<표 3.18> 주택B 경제성 분석 결과

| 대안                          | 주택 개선전   | 1-1<br>(3년 지원금액) | 1-2<br>(5년 지원금액) | 2<br>(법규 수준)    |
|-----------------------------|----------|------------------|------------------|-----------------|
| 초기투자비용                      | -        | 309,764원         | 512,997원         | 889,280원        |
| 개선부위                        | -        | 외벽, 천장           | 외벽, 천장           | 바닥을 제외한<br>전 부위 |
| 초기투자비용<br>회수기간              | -        | 9년               | 13년              | 20년             |
| 연간<br>난방비용(A)               | 150,216원 | 112,258원         | 109,989원         | 75,708원         |
| 연간<br>지원금액(B)               | 105,000원 |                  |                  |                 |
| 거주자부담금<br>(A-B)             | 45,216원  | 7,258원           | 4,989원           | -29,220원        |
| 개선전 대비<br>연간<br>난방비용<br>절감율 | -        | 25%              | 27%              | 50%             |



### <주택A(비거주)>



### <주택B(거주)>



[그림 3.5] 주택 별 초기 투자비용 회수기간

### 3.5 소결

노후주택을 위한 적정기술을 개발하기 위해 대표성을 가지고 있는 노후주택 건물을 실측하고 실측된 성능을 바탕으로 시뮬레이션을 실행해 에너지 소비량을 파악하여 적정기술의 개발 방향을 분석하였다.

(1) 노후주택 실측 결과 단열 성능 수준은 매우 오래된 기준 수준에도 못 미치는 것으로 파악되었고 기밀성은 거주자의 의사에 따라 보완되어 사용되어지고 있으나 국외기준에는 못 미치는 것으로 나타났다.

(2) 시뮬레이션을 통한 에너지 소비량 비율 산출 결과, 건물마다 열손실이 일어나는 비율이 다르고 이에 따라 개선되는 효율성에 상이하므로 적정기술 개발 시 성능을 진단할 수 있는 방법이 필요한 것으로 나타났다.

(3) 비용 및 성능을 기준으로 LCC 분석 결과, 비용을 고려하여 부위별로 성능을 개선했을 경우 투자비용 대비 성능은 뛰어나지만 정부지원금액(에너지 바우처) 내에서 난방을 모두 해결할 수 없으며 최소한 법규수준까지는 성능을 개선해야 정부지원금액으로 난방이 가능한 것으로 나타났다.

## 제 4 장 적정기술이 적용된 노후주택의 열손실 저감방안 도출 및 평가

### 4.1 개요

본 장에서는 노후주택의 난방에너지 절감을 위한 적정기술이 적용된 열손실 저감방안을 도출하고자 하였다. 도출된 저감방안의 난방에너지 절감 효과를 평가하기 위해 일반적인 유형의 노후주택을 대상으로 열손실 저감방안을 적용한 뒤, 그 효과를 분석하였다.

### 4.2 적정기술을 적용한 열손실 저감방안 도출

노후주택의 열손실을 저감하여 쾌적한 온도로 유지하기 위한 방안으로 내 단열과 같은 전면적인 개보수를 실시할 경우 개보수 비용이 상승하여 비용 회수를 기대하기 어려울 뿐만 아니라 노후주택의 거주자들은 경제적으로 취약한 계층일 가능성이 높으므로 정부나 지자체의 도움 없이는 개보수 비용을 부담하기 어려운 문제가 발생하게 된다. 또한 노후주택 거주자들이 정부의 지원금 내에서 난방을 가동하기 위해서는 주택을 법규수준으로 개보수하는 것이 필요하지만, 노후주택의 경우 단열성능이 취약하기 때문에 일반적으로 사용되는 압출법 단열재를 사용하여 보강을 실시할 경우 <표 4.1>과 같이 보강에 필요한 단열재의 두께가 두꺼워져 생활공간이 축소하게 되는 문제가 발생하게 된다. 생활공간이 축소하는 문제를 개선하기 위해 진공단열재와 같은 고성능 단열재를 사용하는 방안이 있지만 해당방안의 경우 압출법 단열재를 사용

하는 경우에 비해 비용이 상승하기 때문에 노후주택 거주자들의 경제적 상황을 고려할 때 효율적인 대안이 되기 어렵다.

<표 4.1> 법규수준 달성을 위해 보강되어야 하는 단열재(압출법 보온판) 두께 및 열저항

| 구분  | 열관류율<br>[W/m <sup>2</sup> K] |             | 법규<br>수준<br>[W/m <sup>2</sup> K] | 추가되는 단열재<br>두께 [mm] |             | 추가되는 열저항<br>[m <sup>2</sup> K/W] |             |
|-----|------------------------------|-------------|----------------------------------|---------------------|-------------|----------------------------------|-------------|
|     | 주택A<br>(비거주)                 | 주택B<br>(거주) |                                  | 주택A<br>(비거주)        | 주택B<br>(거주) | 주택A<br>(비거주)                     | 주택B<br>(거주) |
| 외벽  | 1.822                        | 1.237       | 0.260                            | 100                 | 90          | 3.310                            | 3.034       |
| 내벽  | 1.605                        | 2.751       | 1.500                            | -                   | -           | -                                | -           |
| 현관문 | 3.016                        | -           | -                                | 10                  | -           | 0.345                            | -           |
| 실내문 | 1.005                        | 2.992       |                                  | -                   | -           | -                                | -           |
| 창문  | Glass                        | 2.919       | 1.500                            | 8                   | -           | 0.333                            | 0.333       |
|     | Frame                        | 1.621       |                                  | 30                  | 30          | 0.034                            | 0.828       |
|     | 합계                           | 2.452       |                                  | -                   | -           | -                                | -           |
| 천장  | 0.940                        | 1.127       | 0.220                            | 110                 | 110         | 3.483                            | 3.655       |
| 바닥  | 1.390                        | 1.934       | 0.220                            | -                   | -           | 3.793                            | 4.000       |

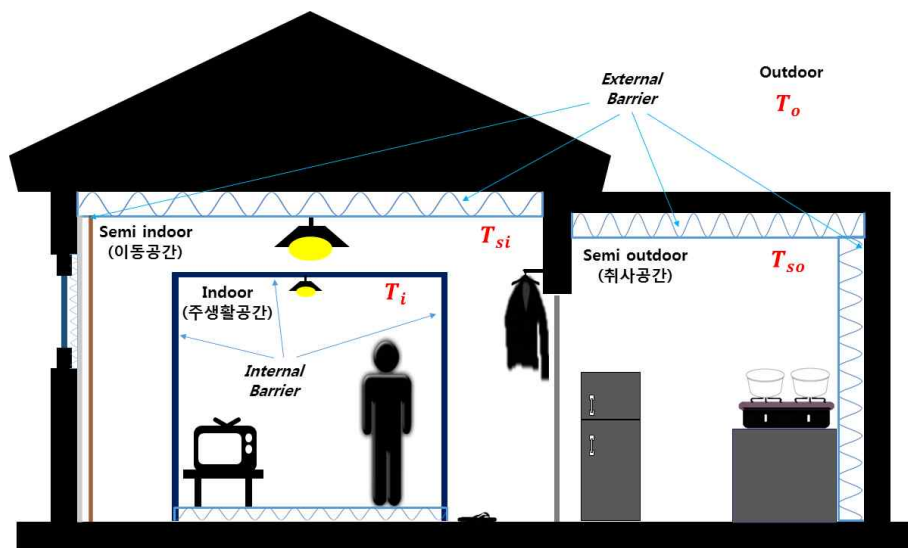
그뿐만 아니라 노후주택 관련 전문가 및 실무자들과의 인터뷰 결과 노후주택에 세를 들어 거주하는 빈곤층의 경우 정부나 지자체의 지원을 받아 개보수를 실시하게 되어도 주택의 소유주가 집세를 올려 불이익을 받거나 높아진 집세를 감당하지 못해 이사를 가게 되는 경우가 있어 실질적인 혜택은 노후주택 거주자에 비해 경제적으로 여유가 있는 집주인에게 돌아가는 상황이 발생하

고 있다고 한다. 또한 노후화 정도가 심해 재건축이 필요하거나 재개발이 예정된 경우 많은 비용을 들여 개보수를 실시하는 것이 효율적이지 못하다는 의견이 있었다. 이와 같이 노후주택의 개보수 시 단순히 기존의 기술을 적용하는 것이 항상 효율적이지 않으므로 노후주택 거주자들이 실질적으로 혜택을 받고 이를 통한 삶의 질 향상을 이루기 위해서는 기존의 기술을 다양한 상황에 맞게 변형하여 사용자 중심에서 문제를 해결하려는 방법인 적정기술적 접근이 대안이 될 수 있다.

전술한 바와 같이 전면적인 개보수는 적용하기에 어려움이 따르고 부분적인 개보수를 적용할 경우 단열 및 기밀성능이 높지 않고 난방공간과 비난방공간의 온도차가 크기 때문에 외기와 접하는 외피의 면적을 통해 손실되는 열량을 효율적으로 감소시키기 어렵다. 이와 같은 문제를 개선하기 위하여 난방이 필요한 공간과 필요하지 않을 공간을 구분하는 조닝을 실시하여 열손실이 발생하는 면적을 감소시키고, 조닝을 통해 형성된 열적 버퍼공간으로 인해 난방공간과 비난방공간의 온도차가 감소하여 열손실을 감소시키는 방법이 우테크 집, 겹집, 발코니 등과 같은 전통주거에서 나타나고 있다. 그러나 이러한 방안들은 신축시 고려되는 방안으로 시공상의 문제, 주택관련 법규상의 문제 등으로 인해 기존 주택에 적용하기에는 어려움이 발생한다. 그러므로 시공이 완료된 기존 주택에서 조닝을 다르게 하여 열손실을 저감하기 위해서는 주택 내부의 공간 용도를 구분하여 수면과 같은 필수적인 생활이 주로 이루어지는 공간과 그렇지 않은 공간으로 구분하는 방안이 필요하다.

따라서 본 논문에서는 노후주택의 열손실 저감을 통해 난방에너지를 절약하기 위해 주택 전체에 난방을 가동하지 않고, 난방이 필요한 공간을 분리하

여 해당공간을 쾌적한 온도로 유지하기 위한 성능개선 방안을 제안하고자 한다. [그림 4.1]과 같이 주요한 생활이 이루어지는 공간을 Indoor, 주택 출입 및 부수적인 활동을 위한 이동공간을 Semi indoor, 취사가 이루어지는 공간을 Semi outdoor로 정의하여 난방이 필수적으로 필요한 공간을 Indoor로 설정하였다. 주택 외피에 실시하는 보강을 External Barrier, 실 내부에 실시하는 보강을 Internal Barrier로 정의하여 External Barrier와 Internal Barrier를 통해 단열 및 기밀보강을 이중으로 실시하며 이와 같은 방안을 Double Barrier로 명명하였다. 이중으로 단열 및 기밀보강을 실시하기 때문에 보강되는 단열재의 두께를 감소시킬 수 있으며, Internal Barrier 설치로 인해 발생하는 공간이 열적 버퍼 역할을 하여 Indoor의 열손실을 저감할 수 있을 것으로 판단된다. 이와 같은 방안은 수요자의 문제 해결과 삶의 질 향상을 위해 기존의 기술을 변형시켜 적용한 점과 비용 절감 측면을 고려해 볼 때 적정기술이라고 할 수 있다.



[그림 4.1] Double Barrier 개념도

## 4.3 개선방안의 적용효과 분석

### 4.3.1. 분석개요

적정기술이 적용된 노후주택의 열손실 저감방안의 적용효과에 대한 분석을 위해 정상상태 계산을 수행하였다. 분석을 실시한 대상 세대는 3장에서 평가한 주택A(비거주)이며 난방부하, CO<sub>2</sub> 농도, 결로발생 여부를 판단하기 위한 표면온도와 노점온도에 대한 분석을 실시하였다.

Double Barrier 적용 전·후의 열손실을 비교하기 위한 난방부하 계산뿐만 아니라 CO<sub>2</sub> 농도 및 결로발생 여부 판단을 위한 표면온도, 노점온도에 대한 분석을 실시하게 된 이유는 다음과 같다. 열손실 저감을 위해서는 Internal Barrier의 기밀도를 향상시키는 것이 필요하지만 이로 인해 환기량이 부족하게 되면 인체에서 배출된 CO<sub>2</sub>가 주택 밖으로 배출되지 않고 축적되어 어지럼증 유발과 같은 건강상의 문제를 발생시킬 수 있다. 따라서 Double Barrier 적용 시 기밀도 및 CO<sub>2</sub> 발생원이 CO<sub>2</sub> 농도에 미치는 영향을 분석하고자 하였다.

또한 노후주택의 열손실 저감을 위해 Double Barrier를 적용하여도 단열 성능이 취약하기 때문에 취사, 세탁물의 건조와 같이 수증기가 발생하게 되는 행위를 생활공간에서 실시하게 될 경우 노점온도가 표면온도보다 상승할 가능성이 높아지므로 결로로 인한 곰팡이 발생 등과 같은 2차 피해가 우려된다. 따라서 인체에서 발생하는 수증기 이외에 추가로 수증기가 발생하는 행위들을 생활공간 이외에서 실시하는 것이 필요하나, 노후주택 관련 전문가 인터뷰를 실시한 결과 생활공간 내에서 취사와 같은 행위가 발생하는 것으로 파악되었다. 따라서 Double Barrier의 적용 시 수증기의 발생이 결로발생에 미치는 영향을 분석하고자 하였다.

### 가. 난방부하 분석개요

Double Barrier 적용 시 난방부하는 거주자가 수면을 실시하는 야간의 경우, 일상생활을 실시하는 낮의 경우와 같은 외기온의 변화와 External Barrier의 성능이라고 할 수 있는 주택 외피의 단열 및 기밀성능에 의해 부하의 크기에 영향을 받는다. 또한 Indoor 공간의 크기에 따라 열손실이 발생하는 면적이 달라지고, 이를 둘러싸고 Internal Barrier의 단열 및 기밀성능에 따라 열손실의 크기가 달라져 부하의 크기에 영향을 미치게 된다.

따라서 다양한 상황에서의 Double Barrier의 적용 시 난방부하 절감효과를 분석하기 위해 서울지역의 지난 30년간 최저기온( $-14.4^{\circ}\text{C}$ )과 평균기온( $-0.8^{\circ}\text{C}$ )에 대하여 External Barrier의 성능이 <표 4.2>, Internal Barrier의 성능 및 크기가 <표 4.3>인 경우를 조합하여 분석을 실시하였고 분석 Case는 <표 4.4>와 같다.

<표 4.2> External Barrier의 단열 및 기밀성능

| 구분 | U-value [W/m <sup>2</sup> K] |      |      |      |      | 기밀도 [ACH] | 비고                       |
|----|------------------------------|------|------|------|------|-----------|--------------------------|
|    | 외벽                           | 현관문  | 창문   | 천장   | 바닥   |           |                          |
| a  | 1.82                         | 3.02 | 2.45 | 0.94 | 1.39 | 1.2       | 주택A 단열 및 기밀 수준(1979년 이전) |
| b  | 0.47                         | 3.84 | 3.84 | 0.29 | 0.35 | 1.0       | 2001년 주택 단열 및 기밀 수준      |
| c  | 0.21                         | 1.2  | 1.2  | 0.15 | 0.18 | 0.5       | 2015년 주택 단열 및 기밀 수준      |



<표 4.3> Internal Barrier의 단열, 기밀성능 및 크기

| 구분  | U-value<br>[W/m <sup>2</sup> K] | 기밀도<br>[ACH] | Size<br>[가로*세로*높이, m] |
|-----|---------------------------------|--------------|-----------------------|
| I   | 4.768                           | 2.7          | 2 * 1.15 * 1.25       |
| II  | 3.878                           | 1.0          |                       |
| III | 1.922                           | 0.5          |                       |

<표 4.4> 난방부하 분석 Case

| 구분        | 외기온 [℃] | External Barrier 성능 | Internal Barrier 성능                   |
|-----------|---------|---------------------|---------------------------------------|
| Case A-1  | -14.4   | a<br>(1979년 이전)     | I (4.768W/m <sup>2</sup> K, 2.7ACH)   |
| Case A-2  |         |                     | II (3.878W/m <sup>2</sup> K, 1.0ACH)  |
| Case A-3  |         |                     | III (1.922W/m <sup>2</sup> K, 0.5ACH) |
| Case A-4  |         | b<br>(2001년)        | I (4.768W/m <sup>2</sup> K, 2.7ACH)   |
| Case A-5  |         |                     | II (3.878W/m <sup>2</sup> K, 1.0ACH)  |
| Case A-6  |         |                     | III (1.922W/m <sup>2</sup> K, 0.5ACH) |
| Case A-7  |         | c<br>(2015년)        | I (4.768W/m <sup>2</sup> K, 2.7ACH)   |
| Case A-8  |         |                     | II (3.878W/m <sup>2</sup> K, 1.0ACH)  |
| Case A-9  |         |                     | III (1.922W/m <sup>2</sup> K, 0.5ACH) |
| Case A-10 | -0.8    | a<br>(1979년 이전)     | I (4.768W/m <sup>2</sup> K, 2.7ACH)   |
| Case A-11 |         |                     | II (3.878W/m <sup>2</sup> K, 1.0ACH)  |
| Case A-12 |         |                     | III (1.922W/m <sup>2</sup> K, 0.5ACH) |
| Case A-13 |         | b<br>(2001년)        | I (4.768W/m <sup>2</sup> K, 2.7ACH)   |
| Case A-14 |         |                     | II (3.878W/m <sup>2</sup> K, 1.0ACH)  |
| Case A-15 |         |                     | III (1.922W/m <sup>2</sup> K, 0.5ACH) |
| Case A-16 |         | c<br>(2015년)        | I (4.768W/m <sup>2</sup> K, 2.7ACH)   |
| Case A-17 |         |                     | II (3.878W/m <sup>2</sup> K, 1.0ACH)  |
| Case A-18 |         |                     | III (1.922W/m <sup>2</sup> K, 0.5ACH) |

나. CO<sub>2</sub> 농도 분석개요

Double Barrier 적용 시 주택에서의 CO<sub>2</sub> 농도는 External Barrier의 기밀도, Internal Barrier의 기밀도·크기 그리고 CO<sub>2</sub> 발생원에 의해 달라지게 된다. 따라서 CO<sub>2</sub> 발생원을 인체로 가정하여 인원수에 따라 앞서 난방부하 분석 시의 External Barrier와 Internal Barrier의 기밀도의 경우에 대해 CO<sub>2</sub> 농도를 분석하였고 분석 Case는 <표 4.5>와 같다.

<표 4.5> CO<sub>2</sub> 농도 분석 Case

| 구분        | 인원수<br>[명] | External Barrier 기밀도<br>[ACH] | Internal Barrier<br>기밀도 [ACH] |
|-----------|------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Case B-1  | 1          | 1.2                           | 2.7                           |
| Case B-2  |            |                               | 1.0                           |
| Case B-3  |            |                               | 0.5                           |
| Case B-4  |            | 1.0                           | 2.7                           |
| Case B-5  |            |                               | 1.0                           |
| Case B-6  |            |                               | 0.5                           |
| Case B-7  |            | 0.5                           | 2.7                           |
| Case B-8  |            |                               | 1.0                           |
| Case B-9  |            |                               | 0.5                           |
| Case B-10 | 2          | 1.2                           | 2.7                           |
| Case B-11 |            |                               | 1.0                           |
| Case B-12 |            |                               | 0.5                           |
| Case B-13 |            | 1.0                           | 2.7                           |
| Case B-14 |            |                               | 1.0                           |
| Case B-15 |            |                               | 0.5                           |
| Case B-16 |            | 0.5                           | 2.7                           |
| Case B-17 |            |                               | 1.0                           |
| Case B-18 |            |                               | 0.5                           |

다. 결로발생 분석개요

Double Barrier 적용 시 주택에서 결로발생에 영향을 미치는 요소로 수증기 발생원, 외기온 및 External Barrier와 Internal Barrier의 성능 있다. 따라서 수증기 발생원을 인체로 가정하여 인원수에 따라 앞서 난방 분석 시의 외기온, External Barrier와 Internal Barrier의 조건을 조합하여 분석을 실시하였으며 분석 Case는 <표 4.6>과 같다. Internal Barrier 벽체와 천장의 표면온도는 천장의 표면열전달계수가 더 크기 때문에 천장에 비해 벽체의 표면온도가 낮게된다. 따라서 벽체의 표면온도가 노점온도보다 크게 되면 Indoor 공간에서 결로가 발생하지 않는다고 판단할 수 있으므로 각 Case 별 Indoor 공간의 벽체 표면온도와 노점온도를 비교하여 결로발생 여부를 판단하였다.

<표 4.6> 결로발생 분석 Case

| 구분        | 인원수 [명] | 외기온 [°C] | External Barrier 성능 | Internal Barrier 성능                   |
|-----------|---------|----------|---------------------|---------------------------------------|
| Case C-1  | 1       | -14.4    | a<br>(1979년 이전)     | I (4.768W/m <sup>2</sup> K, 2.7ACH)   |
| Case C-2  |         |          |                     | II (3.878W/m <sup>2</sup> K, 1.0ACH)  |
| Case C-3  |         |          |                     | III (1.922W/m <sup>2</sup> K, 0.5ACH) |
| Case C-4  |         |          | b<br>(2001년)        | I (4.768W/m <sup>2</sup> K, 2.7ACH)   |
| Case C-5  |         |          |                     | II (3.878W/m <sup>2</sup> K, 1.0ACH)  |
| Case C-6  |         |          |                     | III (1.922W/m <sup>2</sup> K, 0.5ACH) |
| Case C-7  |         |          | c<br>(2015년)        | I (4.768W/m <sup>2</sup> K, 2.7ACH)   |
| Case C-8  |         |          |                     | II (3.878W/m <sup>2</sup> K, 1.0ACH)  |
| Case C-9  |         |          |                     | III (1.922W/m <sup>2</sup> K, 0.5ACH) |
| Case C-10 |         | -0.8     | a<br>(1979년 이전)     | I (4.768W/m <sup>2</sup> K, 2.7ACH)   |
| Case C-11 |         |          |                     | II (3.878W/m <sup>2</sup> K, 1.0ACH)  |
| Case C-12 |         |          |                     | III (1.922W/m <sup>2</sup> K, 0.5ACH) |
| Case C-13 |         |          | b<br>(2001년)        | I (4.768W/m <sup>2</sup> K, 2.7ACH)   |
| Case C-14 |         |          |                     | II (3.878W/m <sup>2</sup> K, 1.0ACH)  |
| Case C-15 |         |          |                     | III (1.922W/m <sup>2</sup> K, 0.5ACH) |
| Case C-16 |         |          | c<br>(2015년)        | I (4.768W/m <sup>2</sup> K, 2.7ACH)   |
| Case C-17 |         |          |                     | II (3.878W/m <sup>2</sup> K, 1.0ACH)  |
| Case C-18 |         |          |                     | III (1.922W/m <sup>2</sup> K, 0.5ACH) |
| Case C-19 | 2       | -14.4    | a<br>(1979년 이전)     | I (4.768W/m <sup>2</sup> K, 2.7ACH)   |
| Case C-20 |         |          |                     | II (3.878W/m <sup>2</sup> K, 1.0ACH)  |
| Case C-21 |         |          |                     | III (1.922W/m <sup>2</sup> K, 0.5ACH) |
| Case C-22 |         |          | b<br>(2001년)        | I (4.768W/m <sup>2</sup> K, 2.7ACH)   |
| Case C-23 |         |          |                     | II (3.878W/m <sup>2</sup> K, 1.0ACH)  |
| Case C-24 |         |          |                     | III (1.922W/m <sup>2</sup> K, 0.5ACH) |
| Case C-25 |         |          | c<br>(2015년)        | I (4.768W/m <sup>2</sup> K, 2.7ACH)   |
| Case C-26 |         |          |                     | II (3.878W/m <sup>2</sup> K, 1.0ACH)  |
| Case C-27 |         |          |                     | III (1.922W/m <sup>2</sup> K, 0.5ACH) |
| Case C-28 |         | -0.8     | a<br>(1979년 이전)     | I (4.768W/m <sup>2</sup> K, 2.7ACH)   |
| Case C-29 |         |          |                     | II (3.878W/m <sup>2</sup> K, 1.0ACH)  |
| Case C-30 |         |          |                     | III (1.922W/m <sup>2</sup> K, 0.5ACH) |
| Case C-31 |         |          | b<br>(2001년)        | I (4.768W/m <sup>2</sup> K, 2.7ACH)   |
| Case C-32 |         |          |                     | II (3.878W/m <sup>2</sup> K, 1.0ACH)  |
| Case C-33 |         |          |                     | III (1.922W/m <sup>2</sup> K, 0.5ACH) |
| Case C-34 |         |          | c<br>(2015년)        | I (4.768W/m <sup>2</sup> K, 2.7ACH)   |
| Case C-35 |         |          |                     | II (3.878W/m <sup>2</sup> K, 1.0ACH)  |
| Case C-36 |         |          |                     | III (1.922W/m <sup>2</sup> K, 0.5ACH) |

#### 4.3.2. 적용효과 분석

##### 가. 난방부하 분석결과

외기온, External Barrier 및 Internal Barrier의 단열, 기밀성능에 따라 Indoor 공간을 동절기 적정 난방온도인 20℃로, Thermal Shock 예방을 위해 Semi indoor 공간을 13℃로 유지하기 위한 난방부하 산출 결과는 <표 4.7>과 같다.

분석결과에 따르면 External Barrier설치를 통해 주택의 외피를 현재 법규 수준까지 향상시킨 경우 단위면적당 난방부하가 외기온에 따라 약 20 ~ 35W/m<sup>2</sup>로 현재 공동주택의 단위면적당 부하 수준인 50W/m<sup>2</sup>과 비교해 볼 때, 열손실이 매우 적게 발생하는 것을 볼 수 있다. 그러나 3장에서 서술한 바와 같이 주택 외피의 단열 및 기밀성능을 현재 법규수준으로 개보수 하는 것은 비용의 문제, 개보수 효율의 문제 등으로 어렵기 때문에 Case A 7~9, 16~18과 같이 External Barrier를 법규수준으로 설치하여 Double Barrier를 적용하는 것은 현실적인 대안이 되기 어렵다.

따라서 Indoor 공간만 난방을 실시할 경우 [그림 4.2]를 볼 때, 외피의 성능이 79년 이전인 경우 Internal Barrier의 성능에 따라 500~918W, 외피의 성능이 2001년 법규 수준일 경우 430~693W로 분석되었다. Internal Barrier의 단열 및 기밀성능이 우수할 경우 Indoor 공간의 난방부하는 외피 성능이 79년 이전, 2001년 수준일 경우 각각 500W, 430W로 노후주택 거주자들이 보조난방기구로 주로 사용하는 온수매트(400W, 2인 기준)에 약 100W의 열량을 추가로 공급하면 Indoor 공간은 쾌적한 온도로 유지할 수 있을 것으로 예상된다.

<표 4.7> Double Barrier 적용 전, 후 난방부하

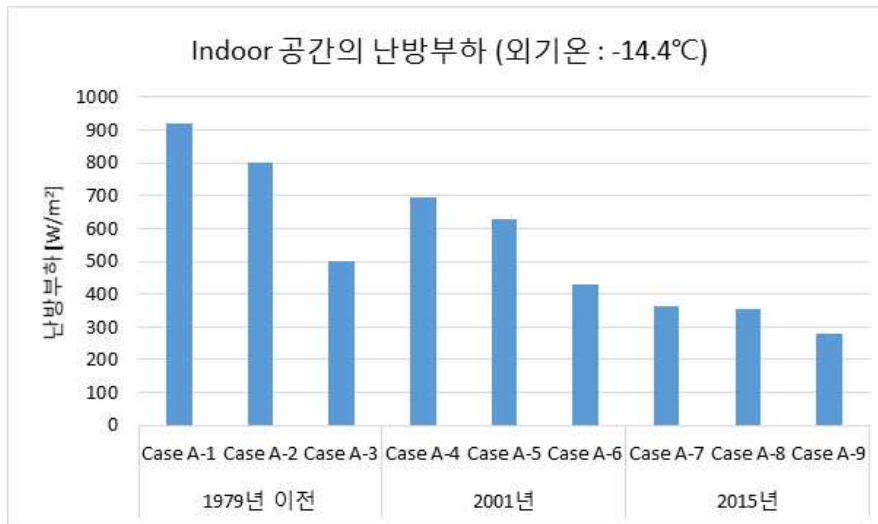
| 구분        | Double Barrier<br>적용 전 난방부하 |                         | Double Barrier<br>적용 후 난방부하 |           |                             |                         | 절감율<br>[%] |
|-----------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------|-----------------------------|-------------------------|------------|
|           | Qi<br>[W]                   | 단위면적당<br>난방부하<br>[W/m2] | Qsi<br>[W]                  | Qi<br>[W] | Qtotal<br>(Qsi + Qi)<br>[W] | 단위면적당<br>난방부하<br>[W/m2] |            |
| Case A-1  | 1990                        | 192                     | 606                         | 918       | 1524                        | 147                     | 23%        |
| Case A-2  |                             |                         | 724                         | 800       | 1524                        | 147                     | 23%        |
| Case A-3  |                             |                         | 1024                        | 500       | 1524                        | 147                     | 23%        |
| Case A-4  | 1005                        | 97                      | 197                         | 693       | 890                         | 86                      | 11%        |
| Case A-5  |                             |                         | 263                         | 627       | 890                         | 86                      | 11%        |
| Case A-6  |                             |                         | 460                         | 430       | 890                         | 86                      | 11%        |
| Case A-7  | 476                         | 46                      | 3                           | 362       | 365                         | 35                      | 23%        |
| Case A-8  |                             |                         | 10                          | 355       | 365                         | 35                      | 23%        |
| Case A-9  |                             |                         | 84                          | 281       | 365                         | 35                      | 23%        |
| Case A-10 | 1384                        | 134                     | 329                         | 595       | 924                         | 89                      | 33%        |
| Case A-11 |                             |                         | 404                         | 520       | 924                         | 89                      | 33%        |
| Case A-12 |                             |                         | 598                         | 326       | 924                         | 89                      | 33%        |
| Case A-13 | 663                         | 64                      | 60                          | 435       | 495                         | 48                      | 25%        |
| Case A-14 |                             |                         | 101                         | 394       | 495                         | 48                      | 25%        |
| Case A-15 |                             |                         | 225                         | 270       | 495                         | 48                      | 25%        |
| Case A-16 | 316                         | 31                      | 0                           | 237       | 237                         | 23                      | 25%        |
| Case A-17 |                             |                         | 0                           | 224       | 224                         | 22                      | 29%        |
| Case A-18 |                             |                         | 31                          | 178       | 209                         | 20                      | 21%        |

일상생활이 이루어지는 상황에서의 난방부하를 분석하기 위해 외기온이 서울지역 동절기 평균온도인  $-0.8^{\circ}\text{C}$  일 때, Double Barrier를 적용한 경우 외피 성능이 79년 이전인 경우 난방부하는 924W, 2001년 법규수준인 경우 495W로 분석되었다. 전술한바와 같이 경제적 형편이 어려운 노후주택 거주자들의 상황을 고려하여 Indoor 공간만 난방을 가동할 경우 발생하는 부하는 [그림 4.3]과 같다. 외피성능이 79년 이전인 경우 Internal Barrier의 성능에 따라 326~595W, 2001년 법규수준일 경우 270~435W로 분석되었다. Internal Barrier의 단열 및 기밀성능이 우수할 경우 Indoor 공간의 난방부하는 외피 성능이 79년 이전, 2001년 수준일 경우 각각 326W, 270W로 온수매트(400W, 2인 기준)의 사용만으로도 Indoor 공간을 쾌적한 온도로 유지할 수 있게된다.

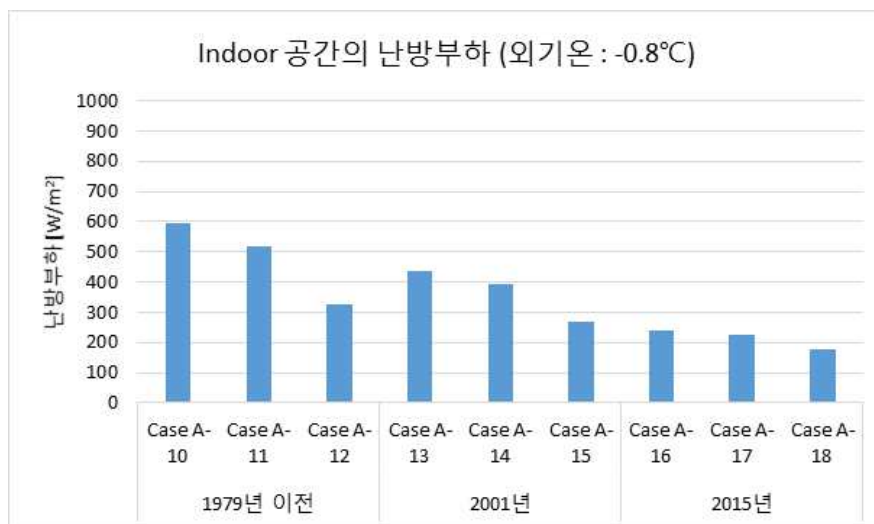
따라서 외피의 성능이 열악하여도 Internal Barrier의 성능이 상대적으로 우수할 경우 Indoor 공간은 326~500W의 열량으로 쾌적한 온도를 유지하는 것이 가능하나. Semi indoor 공간의 온도가 <표 4.8>의 결과와 같이 외기온에 따라 Indoor 공간의 온도에 비해  $10^{\circ}\text{C}$  이상 낮을 수 있으므로 Thermal Shock이 발생하지 않도록 대책을 마련하는 것이 필요하다.

노후주택 거주자의 열손실 저감을 통한 생활환경 개선을 위해 개발되었으나 노후주택 거주자뿐만 아니라 외피의 성능이 상대적으로 우수한 공동주택 거주자를 대상으로도 보급이 증가하고 있는 난방텐트의 보급이 증가하고 있다. Case A-1, 10은 난방텐트와 유사한 성능을 가진 Internal Barrier가 노후주택에 적용된 경우 Case A-7, 16은 현재 단열 및 법규수준의 공동주택에 적용된 경우에 대한 난방부하를 분석한 결과이다. Indoor 공간의 난방부하가

외기온에 관계없이 공동주택에 적용된 경우가 더 낮고 그 크기 또한 400W 미만으로 이를 통해 볼 때, 난방텐트는 노후주택 보다 공동주택에 적용 시 효과가 높을 것으로 판단된다.



[그림 4.2] Indoor 공간의 난방부하 : 외기온 - 14.4℃



[그림 4.3] Indoor 공간의 난방부하 : 외기온 - 0.8℃



<표 4.8> Double Barrier 적용 시 Semi indoor 온도

| 구<br>분      | Case A |    |     |    |   |    |     |     |    |      |      |     |      |      |      |      |      |      |
|-------------|--------|----|-----|----|---|----|-----|-----|----|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|
|             | 1      | 2  | 3   | 4  | 5 | 6  | 7   | 8   | 9  | 10   | 11   | 12  | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   |
| Tsi<br>[°C] | 38     | 41 | 1.7 | 86 | 9 | 66 | 154 | 158 | 14 | 10.1 | 10.4 | 8.7 | 13.7 | 13.9 | 12.3 | 18.1 | 18.4 | 17.2 |

#### 나. CO2 농도 분석결과

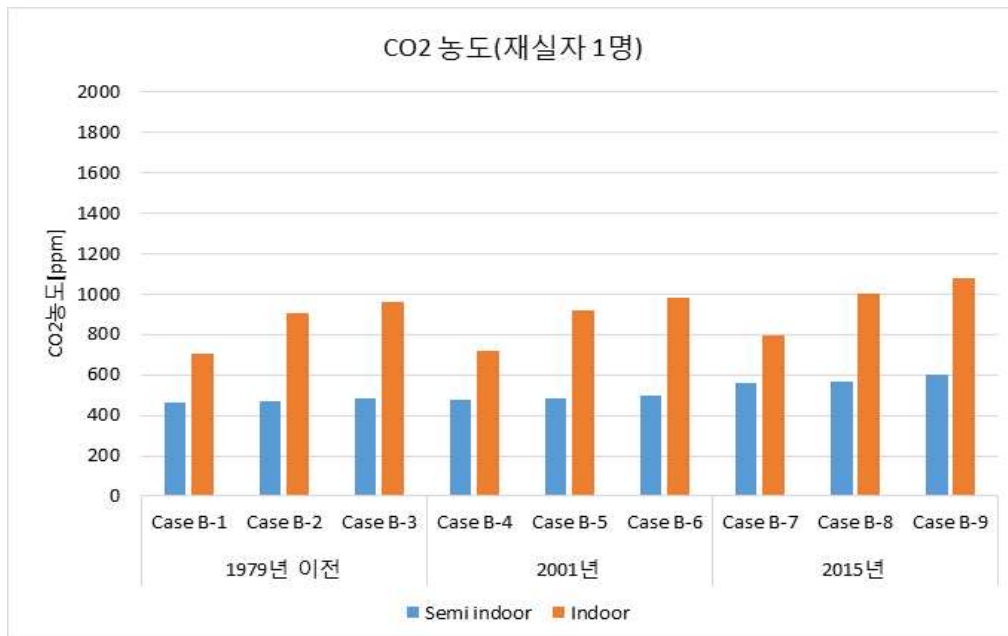
재실자의 수와 External Barrier 및 Internal Barrier의 기밀도에 따른 주택의 CO2 농도에 대한 분석결과는 <표 4.9>과 같다. 분석결과를 볼 때, Semi indoor 공간의 CO2 농도는 모든 Case에서 국내 기준인 1000ppm 이하로 유지되는 것을 볼 수 있으나 Indoor 공간의 CO2 농도는 Case에 따라 기준치를 초과하는 경우가 발생하였다.

Indoor 공간의 재실자가 1명인 경우에 대해 분석한 Case B 1~9의 경우 External Barrier와 Internal Barrier의 기밀도 모두 0.5ACH인 Case B-9를 제외하고 CO2농도 관련 국내 기준치인 1000ppm 이하로 유지되는 것을 볼 수 있었다.

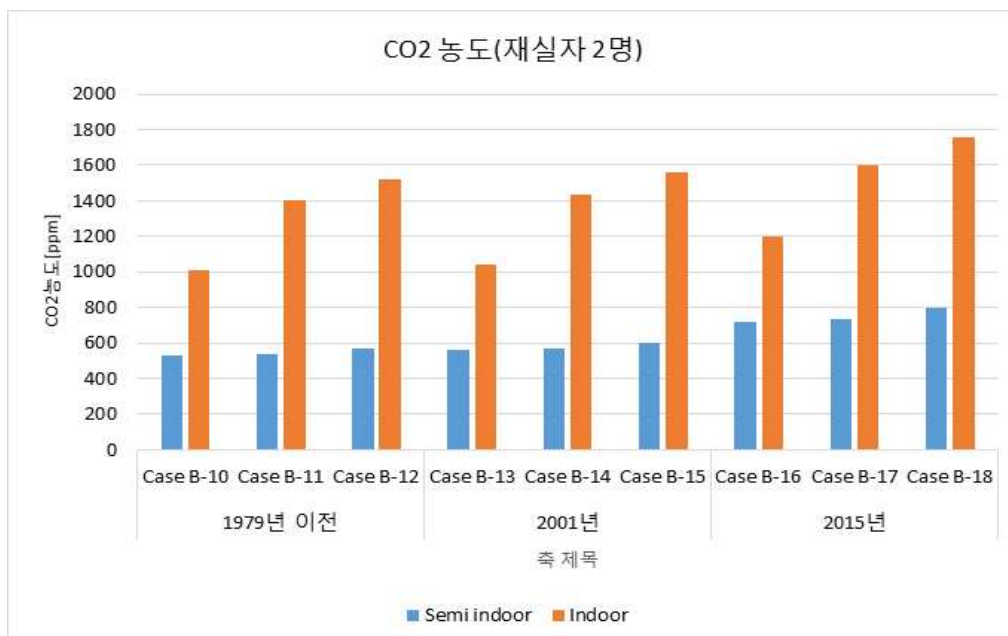
반면 Indoor 공간의 재실자가 2명인 경우에 대한 분석결과인 Case B 10~18의 경우 Indoor 공간의 CO2 농도가 1000ppm 이상으로 나타났다. 따라서 재실자의 수에 따른 CO2 농도 분석결과를 볼 때, External Barrier 및 Internal Barrier의 기밀도와 재실자의 수 중 재실자의 수가 Indoor 공간의 CO2 농도에 영향을 미치는 주요한 변수인 것으로 나타났으며, Indoor 공간의 CO2 농도를 기준에서 제시하는 수치 이하로 유지시키기 위해서는 재실자 수에 대한 고려가 우선적으로 필요할 것으로 판단된다.

<표 4.9> Double Barrier 적용 시 주택의 CO<sub>2</sub> 농도

| 구분        | CO <sub>2</sub> 농도 [ppm] |        |
|-----------|--------------------------|--------|
|           | Semi indoor              | Indoor |
| Case B-1  | 466                      | 705    |
| Case B-2  | 470                      | 902    |
| Case B-3  | 483                      | 961    |
| Case B-4  | 479                      | 719    |
| Case B-5  | 484                      | 916    |
| Case B-6  | 500                      | 978    |
| Case B-7  | 558                      | 798    |
| Case B-8  | 568                      | 1000   |
| Case B-9  | 599                      | 1078   |
| Case B-10 | 532                      | 1011   |
| Case B-11 | 540                      | 1404   |
| Case B-12 | 566                      | 1523   |
| Case B-13 | 558                      | 1037   |
| Case B-14 | 568                      | 1432   |
| Case B-15 | 599                      | 1556   |
| Case B-16 | 716                      | 1195   |
| Case B-17 | 736                      | 1600   |
| Case B-18 | 799                      | 1756   |



[그림 4.4] 주택의 CO2 농도 - 재실자 1명



[그림 4.5] 주택의 CO2 농도 - 재실자 2명

#### 다. 결로발생 분석결과

재실자 수, 외기온, External Barrier 및 Internal Barrier의 단열·기밀성능에 따른 결로발생 분석결과는 <표 4.10>과 같다. 재실자 수가 1명인 경우에 대해 분석한 Case C 1~18의 경우 일상생활 조건을 가정하여 외기온을  $-0.8^{\circ}\text{C}$  적용한 Case C 9~18 중 일부에서 결로가 발생하였다. Case C 1~18에서 결로가 발생한 경우는 생활조건을 가정한 외기온이  $-0.8^{\circ}\text{C}$ 인 경우 중 Exterior Barrier의 단열 및 기밀보강을 실시하지 않은 Case로 이를 통해 볼 때, 재실자 수가 1명이고 Indoor 공간 내에 추가적인 수증기 발생원이 없는 경우에도 외피의 단열 및 기밀 보강을 실시하지 않을 경우 외기온에 따라 Indoor 공간에 결로가 발생할 수 있음을 알 수 있다.

재실자 수가 2명인 경우에 대해 분석한 Case C 19~36의 경우 모든 Case에서 결로가 발생하였다. 이를 통해 볼 때, 재실자 수가 Indoor 공간의 결로발생에 영향을 미치는 주요한 변수인 것으로 판단된다. 그러므로 Indoor 공간내 결로를 예방하기 위해서는 재실자 수를 우선적으로 고려하여 Double Barrier를 적용하는 것이 필요할 것으로 보인다. 또한 재실자의 수가 증가함에 따라 모든 분석 Case에서 결로가 발생하는 것을 볼 때, 주택에서 재실자 이외의 추가적인 수증기 발생원으로 고려할 수 있는 취사 및 세탁물 건조와 같은 행위를 Indoor 공간에서 실시하게 될 경우 결로발생 가능성이 높을 것으로 예상되므로 해당 행위들을 가능한 Indoor 공간 외부에서 실시하는 것을 지향해야 할 것으로 판단된다.

<표 4.10> Double Barrier 적용 시 결로발생여부

| 구분        | 온도 [°C] |      | 결로발생여부 |
|-----------|---------|------|--------|
|           | 표면온도    | 노점온도 |        |
| Case C-1  | 15.7    | 8.6  | X      |
| Case C-2  | 16.5    | 15.0 | X      |
| Case C-3  | 18.3    | 16.7 | X      |
| Case C-4  | 15.7    | 8.0  | X      |
| Case C-5  | 16.5    | 14.6 | X      |
| Case C-6  | 18.3    | 16.2 | X      |
| Case C-7  | 15.7    | 6.3  | X      |
| Case C-8  | 16.5    | 13.4 | X      |
| Case C-9  | 18.3    | 14.9 | X      |
| Case C-10 | 15.7    | 11.4 | X      |
| Case C-11 | 16.5    | 17.0 | O      |
| Case C-12 | 18.3    | 18.5 | O      |
| Case C-13 | 15.7    | 10.9 | X      |
| Case C-14 | 16.5    | 16.4 | X      |
| Case C-15 | 18.3    | 18.1 | X      |
| Case C-16 | 15.7    | 9.5  | X      |
| Case C-17 | 16.5    | 15.5 | X      |
| Case C-18 | 18.3    | 16.9 | X      |
| Case C-19 | 15.7    | 16.1 | O      |
| Case C-20 | 16.5    | 23.9 | O      |
| Case C-21 | 18.3    | 25.6 | O      |
| Case C-22 | 15.7    | 15.7 | O      |
| Case C-23 | 16.5    | 23.7 | O      |
| Case C-24 | 18.3    | 25.4 | O      |
| Case C-25 | 15.7    | 15.9 | O      |
| Case C-26 | 16.5    | 23.0 | O      |
| Case C-27 | 18.3    | 24.6 | O      |
| Case C-28 | 15.7    | 18.0 | O      |
| Case C-29 | 16.5    | 25.1 | O      |
| Case C-30 | 18.3    | 26.8 | O      |
| Case C-31 | 15.7    | 17.6 | O      |
| Case C-32 | 16.5    | 24.9 | O      |
| Case C-33 | 18.3    | 26.5 | O      |
| Case C-34 | 15.7    | 16.7 | O      |
| Case C-35 | 16.5    | 24.2 | O      |
| Case C-36 | 18.3    | 25.8 | O      |

#### 4.4 소결

노후주택을 위한 적정기술을 개발하기 위해 개선방안을 도출하고 일반적 유형의 노후주택을 대상으로 개선방안 적용효과에 대한 분석을 실시하였다.

(1) 노후주택의 열손실 저감을 위해 내단열과 같은 전면적인 개보수 방안을 실시하게 되면 과도한 개보수 비용이 발생하고 자가주택이 아닌 세를들어 사는 경우 임대비용의 증가로 인해 노후주택 거주자들이 그 혜택을 온전히 누리기 어려울 것으로 예상된다. 따라서 노후주택 거주자들이 처한 상황에서 문제를 해결하기 위해 주택에서 난방이 필요한 공간을 구분하여 해당공간을 쾌적한 온도 및 환경으로 유지하기 위해 외피와 실내부에 이중으로 보강을 실시하는 Double Barrier 대안을 제시하였다.

(2) 노후주택에 Double Barrier 적용 시 일상생활이 이루어지는 평균적인 외기온에서는 노후주택 거주자들이 주로 사용하는 보조 난방기구의 가열량(400W)으로 생활공간을 쾌적한 온도로 유지하는 것이 가능하였으나, 수면이 이루어지는 시간대에 발생하는 최저 외기온의 조건에 쾌적한 온도로 유지하기 위해서는 보조 난방기구의 사용 외에도 추가적인 열량이 필요한 것으로 나타났다.

(3) Double Barrier의 열손실 저감효과는 주택 외피의 단열 및 기밀성능이 높을수록 우수한 것으로 나타났으며, 이러한 관점에서 열손실 저감효과 분석 결과를 볼 때, 노후주택 거주자의 열손실 저감을 통한 생활환경 개선을 위해

개발되었으나 노후주택 거주자뿐만 아니라 외피의 성능이 상대적으로 우수한 공동주택 거주자를 대상으로도 보급이 증가하고 있는 난방텐트의 경우 그 적용효과는 공동주택 거주자들이 보다 높을 것으로 판단된다.

(4) Double Barrier 적용 시 주택의 CO<sub>2</sub> 농도와 결로발생은 채실자 수에 의해 가장 큰 영향을 받는 것으로 분석되었다. 따라서 Indoor 공간의 CO<sub>2</sub> 농도를 국내 규정 이하로 유지시키며 결로발생을 예방하기 위해서는 주택의 채실자 수를 고려하여 Double Barrier를 적용하는 것이 필요하다. 또한 Indoor 공간에서 취사나 세탁물의 건조와 같이 수증기가 발생하는 행위를 할 경우 결로발생 가능성이 높을 것으로 예상되므로 Indoor 공간에서는 채실자를 통해 발생하는 수증기 이외에 추가적이 수증기 발생 행위는 지양하는 것이 필요하다.

## 제 5 장 결론

본 연구는 노후주택의 난방에너지 절감을 위한 열손실 저감방안을 제시하기 위해 적정기술의 개념을 적용하였다. 효율적인 노후주택 개선방안 수립을 위해 대표적 유형의 노후주택을 선정하여 단열 및 기밀 성능에 대한 진단을 실시하였으며 진단결과를 바탕으로 열손실 저감방안을 제시하여 적용 효과를 평가하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 다양한 성능개선을 적용하여 LCC 분석을 실시한 결과, 비용을 고려하여 부위별로 성능을 개선했을 경우 투자비용 대비 성능은 뛰어나지만 정부지원금액 내에서 난방을 모두 해결할 수 없으며 최소한 법규 수준까지는 성능을 개선해야 정부지원금액으로 난방이 가능한 것으로 나타났다.
- (2) 노후주택의 열손실을 저감하여 쾌적한 온도로 유지하기 위한 방안으로 내단열과 같은 전면적인 개보수를 실시할 경우 개보수 비용이 상승하여 비용 회수를 기대하기 어려울 뿐만 아니라 노후주택의 거주자들은 경제적으로 취약한 계층일 가능성이 높으므로 정부나 지자체의 도움 없이는 개보수 비용을 부담하기 어렵다.



- (3) 노후주택 실측 결과 단열 성능 수준은 매우 오래된 기준 수준에도 못 미치는 것으로 파악되었고 기밀성은 거주자의 의사에 따라 보완되어 사용되어 지고 있으나 국외기준에는 못 미치는 것으로 분석되었다. 시뮬레이션을 통한 에너지 소비량 비율 산출 결과, 건물마다 열손실이 일어나는 비율이 다르고 이에 따라 개선되는 효율성이 상이하므로 진단을 통해 건물성능을 파악하고 이를 바탕으로 개선을 실시하는 것이 필요하다.
- (4) 생활공간을 확보하고 해당공간을 쾌적한 온도 및 환경으로 유지하기 위해 외피와 실내공간에 이중으로 보강을 실시하는 Double Barrier 대안을 제시하였다. Double Barrier의 단열 및 기밀성능을 변화시키며 Indoor 공간의 난방부하를 분석한 결과 현재 보급되고 있는 난방텐트의 성능수준으로는 노후주택에 적용 시 온수매트나 전기장판의 사용으로 쾌적한 온도를 유지하기 어려운 것으로 파악되었다. 노후주택 거주자들이 보조난방기구로 주로 사용하는 온수매트나 전기장판의 가열량으로 Indoor 공간을 쾌적한 온도로 유지하기 위해서는 Internal Barrier의 U-value와 기밀도가 약  $2\text{W/m}^2\text{K}$ , 0.5ACH의 수준이 되어야 하는 것으로 나타났다.
- (5) Double Barrier 적용 시, 동절기 평균적인 외기온의 경우 Indoor 공간의 난방부하는 400W 미만으로 온수매트 정도의 가열량(400W, 2인 기준)으로 Indoor 공간을 쾌적한 온도로 유지하는 것이 가능하였으나, 최저 외기온의 경우 약 100W 정도의 추가적인 가열량이 필요한 것으로 분석되었다.

(6) Indoor 공간의 CO2 농도 및 결로발생은 재실자의 수에 가장 큰 영향을 받는 것으로 분석되었다. 이를 통해 볼 때, 노후주택에 Double Barrier를 적용 시 재실자가 2명 이상일 경우 재실자의 수를 고려하여 설계를 실시하는 것이 필요할 것으로 판단된다. 또한 실내에서 취사 행위와 같은 수증기가 발생하는 행위를 할 경우, 결로가 발생할 가능성이 높으므로 생활공간과 취사공간을 분리하여 각 공간의 목적에 부합하게 사용하는 것이 필요하다.

본 연구에서는 주택의 외피와 생활공간에 대한 보강을 실시하여 난방에너지를 저감하는 방안을 도출하고 그 적용효과에 대한 평가를 실시하였다. 대안 적용 시 열손실 감소를 통해 난방에너지를 절약할 수 있는 것으로 분석되었으나, 추후에는 대안 적용 시 소요되는 비용의 산출과 실제 노후주택을 대상으로 난방에너지 절감효과를 실증하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

- 1.
2. 구보경, 임재한, 송승영, 2011. 통계분석을 통한 내, 외단열 공동주택 벽-슬라브 접합부 열교부위의 선형 열관류율 예측에 관한 연구, 대한건축학회논문집 계획계, 27(8), pp.305-312
3. 구보경, 임재한, 송승영, 2012, 내, 외단열 구조체의 열관류율 수준별 열교에 의한 단열성능 저하 정도 분석, 한국건축친환경설비학회 학술발표대회 논문집, pp.87-90
4. 국토교통부, 2016, 도시 및 주거환경정비법 제2조 제3호
5. 김대원, 정광섭, 김영일, 김성민, 2013, 에너지공학, 22(2), pp.83-89
6. 김민경, 김성은, 2010, 기존 단독주택의 에너지성능개선을 위한 요소 및 효과에 관한 연구, 서울도시연구, 11(3), pp.29-47
7. 김민경, 신동홍, 2012, 서울시 단도주택 난방에너지 효율개선사업 활성화방안, 서울연구원
8. 김성임, 이현화, 임재한, 송승영, 2014, 그린 리모델링을 위한 노후 상업용 건축물 불투명 외벽의 단열성능 현장 측정 및 평가, 대한건축학회논문집 계획계, 30(7), pp.237-246
9. 김일진, 김명복, 1990, 경북지방의 곽집에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 6(5), pp.85-93
10. 김정화, 2015, 저소득층 단독주택 난방에너지 기준 및 개선모델 개발 연구, 석사학위 논문, 과학기술연합대학원대학교
11. 김찬영, 2004, 울릉도 민가의 변화과정에 관한 연구, 한국주거학회논문집, 15(5), pp.85-96
12. 농어촌연구원 농어촌환경연구소, 2012, 에너지성능개선을 위한 농어촌주택 리모델링에 관한 연구(1)
13. 박종문, 김동환, 서동진, 2012, 친환경 건축물 단열재 최근 연구 동향, 18(1), pp.14-21
14. 송승영, 구보경, 이병인, 선형 열관류율을 이용한 공동주택 열교 부위의 단열성능 평가, 한국건축친환경설비학회 학술발표대회 논문집, pp.117-120
15. 신현국, 조재훈, 2011, 건물의 기밀성능 측정에서의 가감압법 테스트조건 비교, 대한건축학회논문집 계획계, 27(8), pp.279-286

16. 엄경희, 김형주, 2012, 적정기술을 활용한 디자인제품 사례 연구, 한국디자인문화학회지, 18(4), pp.262-277
17. 이도영, 2013, 한국 적정기술 정책의 과거, 현재, 그리고 미래, 과학기술정책, 193, pp.118-129
18. 이용준, 2008, 영동 산간지역 민가의 평면 변화에 관한 고찰, 한국주거학회논문집, 19(5), pp.121-129
19. 이재완, 2010, 울릉도 민가의 공간구성과 거주관행, 비교민속학, 43, pp.421-466
20. 정기철, 2010, 적정기술의 동향과 시사점, Issues & Policy, pp.1-8
21. 정수광, 전지수, 서정기, 김수민, 2011, 건축물에너지 저감을 위한 Phase change material(PCM) 적용에 대한 고찰, 한국건축친환경설비학회 논문집, 5(1), pp.7-15
22. 정진우, 조동우, 목선수, 박아름, 박근수, 2012, 노후주택의 리트로피트를 통한 에너지 성능개선 효과 분석, 대한건축학회논문집 계획계, 28(12), pp.427-434
23. 정창현, 김태연, 이승복, 2010, 노후 공동주택 개보수를 통한 난방부하 저감 가능성 분석, 대한건축학회논문집 계획계, 26(7), pp.275-284
24. 조재훈, 2010, 초고층 주거건물에서의 단위세대 기밀성능 측정 및 평가, 대한건축학회논문집 계획계, 26(10), pp.337-344
25. 조희정, 김원택, 오은영, 2014, 적정기술을 활용한 자립형 제품 개발 프로세스 연구, 디지털디자인학연구, 14(3), pp.365-374
26. 차종훈, 김수민, 2011, 건물적용을 위한 에어로겔의 단열 특성에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표대회 논문집-구조계, 31(2), pp.303-304
27. 최석환, 2014, 노후주택 관리 및 정비 지원을 통한 도시재생방안 연구 최종보고서, 수원시정연구원
28. 황민규, 김강수, 2007, 적외선 열화상 분석기법과 시뮬레이션 분석기법에 의한 창호 시스템의 전열성능 비교, 분석에 관한 연구, 대한건축학회논문집 계획계, 23(7), pp.261-268
29. 황제, 정아희, 전병헌, 안영철, 2015, 단열시트(백백이)의 종류 및 부착위치에 따른 창호의 단열성능 평가, 설비공학논문집, 27(9), pp.463-467
30. 허은지, 정희규, 송두삼, 2012, 건물 단열성능의 현장측정 방법에 관한 연구, 대한설비공학회 2012 하계학술발표대회 논문집, pp.328-333
31. HanmiParsons, 2010, 국내 단열재 현황 및 향후 추세

32. ISO 6946 : Building components and building elements – Thermal resistance and thermal transmittance – Calculation method
33. ISO 10211 : Thermal bridges in building construction – Heat flows and surface temperatures – Detailed calculations
34. ISO 14683 : Thermal bridges in building construction – Linear thermal transmittance – Simplified methods and default values
35. Asdrubali F. and Baldinelli G. 2011. Thermal transmittance measurements with the hot box method: Calibration, experimental procedures, and uncertainty analyses of three different approaches. In: Energy and Buildings, Vol. 43, pp. 1618-1626
36. Bulent Y. and Paki T. 2007. A simple dynamic measurement technique for comparing thermal insulation performances of anisotropic building materials. In: Energy and Buildings, Vol. 39, pp. 1027-1034
37. Cucumo M., De Rosa A., Rerraro V., Kaliakatsos D. and Marinellial V. 2006. A method for the experimental evaluation in situ of the wall conductance. In: Energy and Buildings, Vol. 38, pp. 238-244
38. Giesepe D., Salvatore M. and Roberto R. 2011. Comparing different approaches to in situ measurement of building components thermal resistance. In: Energy and Buildings, Vol. 43, pp. 2613-2620
39. Giorgio F., Fabio I., Elvira I., Francesca R. and Marco D. 2015. U-value in situ measurement for energy diagnosis of existing buildings. In: Energy and Buildings, Vol. 104, pp. 108-121
40. Nicolas Jéquier, 1976, Appropriate Technology: Problems and Promises, Paris, Development Centre of OECD, pp.16-17
41. 네이버사전, canopy, <http://endic.naver.com/enkrEntry.nhn?sLn=kr&entryId=774ea545b6d94746bf3c65e1a13d8004>
42. 다음백과사전. 우데기, <http://100.daum.net/encyclopedia/view/39XXX8700043>
43. 동아사이언스, 난방텐트, 정말 따뜻할까, <http://www.dongascience.com/news.php?idx=15624>
44. 전원주택 라이프, 2007, [고택을 찾아서] 자연 환경에 따른 건축 구조를 한눈에, 강원도 고성 여명기 가옥, [https://countryhome.co.kr:454/m/?a\\_id=2014](https://countryhome.co.kr:454/m/?a_id=2014)
45. Wikipedia, Canopy bed, [https://en.wikipedia.org/wiki/Canopy\\_bed](https://en.wikipedia.org/wiki/Canopy_bed)

## ABSTRACT

### Reduction of Heat Loss Applied with Appropriate Technology for Energy Saving of Deteriorated Housing

By Choi, Chang Sik

Department of Architecture and Architectural Engineering  
Master's Course in the Graduate School of  
Seoul National University

Advised by Professor Kim, Kwang Woo

2017. 2.

Deteriorated housing has a lot of heat loss due to poor insulation and poor air tightness performance. Heat losses are causing excessive heating energy to maintain a comfort indoor environment. To improve this problem, it is need to carry out a full-scale insulation and renovation. But deteriorated housing dwellers are poor, they need an efficient way to improve insulation and confidence at low cost.

Currently, the appropriate technology to improve living conditions for underprivileged households is emerging. Therefore, using appropriate technology can be an alternative to solving problems in deteriorated housing. This study aims to reduction of heat loss applied with appropriate technology for heating energy saving of deteriorated housing.

To identify the performance of deteriorated housing, insulation and air

tightness performance were measured and building energy simulation was used to identify the heat loss. Through building energy simulation, various alternatives were analyzed, resulting in reduced heating energy savings and costs. A proposal to reduce the heat loss in the deteriorated housing has been proposed and evaluated of its heating energy saving performance.

The results of this research are summarized as follows:

- 1) The level of insulation in the deteriorated housing was considered inferior to that of the old standard, and the air tightness performance was supplemented by the resident's wishes but it was analyzed to be inferior to the foreign standards. According to the results of the analysis of energy consumption through simulation, the ratio of heat loss to buildings was different. Since the improvements are different, it is necessary to identify and improve building performance through diagnosis.
- 2) This results proposed the method which is reinforce the indoor and interior space of the housing in order to keep the deteriorated housing warm and comfort. When apply this method, during the winter average temperature, the heating load of the living room was less than 400W. If the temperature is the lowest, it is analyzed that About 100 watts are needed additionally.

3) The concentration of CO<sub>2</sub> and condensation were analyzed to be the biggest influence on the number of people in indoor space. When cooking in indoor space, the possibility of condensation is likely to occur. So it is necessary to use the purpose of the space.

Keywords : Deteriorated housing, Retrofit, Heating energy, Heating load, Heat loss, Heating tent

Student Number : 2015-21125